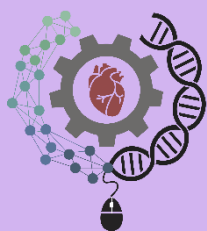




ESCUELA
POLITÉCNICA
SUPERIOR

Sistema de ayuda frente a la kinesiofobia mediante técnicas de Realidad Virtual



Grado en Ingeniería Biomédica

Trabajo Fin de Grado

Autora:

Paloma Gisbert Calbo

Tutores:

Antonio Manuel Jimeno Morenilla,
Andrés Úbeda Castellanos



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Junio 2021

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a los tutores sus labores en el proyecto, han sido de gran ayuda y han estado siempre dispuestos a encaminarlo y verlo avanzar poco a poco. A Antonio, su gran énfasis que transmite, las buenas palabras dirigidas hacia el proyecto y el esfuerzo del trabajo realizado, ya que son muy satisfactorias. Y a Andrés, su generosidad al ofrecerme el laboratorio de Human Robotics como lugar de trabajo durante el proyecto y por brindarme las herramientas necesarias para conseguir la elaboración del trabajo que tanta ilusión me hacía.

También agradecer la gran colaboración y orientación crítica durante todo el proceso de la realización del trabajo, junto a la aportación de grandes conocimientos especializados en el campo de la salud, a mi hermana Ana.

Mis padres y abuelos se merecen un especial agradecimiento por ofrecerme los medios para aprender la importancia de la constancia en el trabajo.

Resumen

El mundo de la Realidad Virtual (RV) puede además de crear videojuegos, conseguir grandes avances en el campo de la medicina y en el tratamiento de enfermedades. En este trabajo, se propone la RV como herramienta alternativa en la rehabilitación de personas con kinesiofobia. Este tipo de pacientes presenta una gran dificultad de adherencia al tratamiento y una escasa obtención de resultados satisfactorios en los tratamientos convencionales, a causa de su dolor. Es a través de unas gafas de alta tecnología y un videojuego como se pretende ayudar a los pacientes y profesionales sanitarios a combatir esta patología.

Existen diferentes estudios y prototipos de aplicaciones dedicados al ámbito de rehabilitación de pacientes que han perdido sus funciones motoras y han adquirido grandes resultados. De esta manera, se utiliza una metodología que analiza los programas desarrolladores de entornos virtuales, junto a los dispositivos de RV de última generación y se complementa con el ingenio de diversos ejercicios dirigidos al paciente.

Los resultados muestran la obtención de una aplicación lúdica e intuitiva que permite al paciente movilizar la parte de las extremidades superiores e introducirle en un entorno de evasión de emociones negativas, potenciando el afán de superación y la obtención de buenas puntuaciones. La valoración de los usuarios que han probado la aplicación representa resultados alentadores que recomiendan su uso a pacientes con kinesiofobia.

Palabras clave: Realidad Virtual; videojuego; kinesiofobia; rehabilitación; dolor.

Índice de contenidos

1. INTRODUCCIÓN	11
1.1. MOTIVACIÓN	12
1.2. OBJETIVOS	12
1.3. METODOLOGÍA	13
2. ESTADO DEL ARTE	14
2.1.1. LA REALIDAD VIRTUAL COMO CONCEPTO	14
2.1.2. BREVE HISTORIA DE LA REALIDAD VIRTUAL	15
2.1.3. LA REALIDAD VIRTUAL EN EL ÁMBITO SANITARIO	17
2.1.4. PREVIAS APLICACIONES DE REALIDAD VIRTUAL EN LA REHABILITACIÓN	19
2.1.5. POTENCIALES VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LA REALIDAD VIRTUAL EN REHABILITACIÓN	21
2.1.6. LA KINESIOFOBIA	23
2.2. CONCLUSIONES AL ESTADO DEL ARTE	26
2.3. PROPUESTA	27
3. DISEÑO DE LA PROPUESTA	28
3.1. ANÁLISIS DE LAS HERRAMIENTAS DE REALIDAD VIRTUAL	28
3.1.1. PLATAFORMAS DE DESARROLLO DE REALIDAD VIRTUAL	28
3.1.2. PLATAFORMA DE DESARROLLO UTILIZADA: UNITY	31
3.1.3. DISPOSITIVOS DE REALIDAD VIRTUAL	33
3.2. APLICACIONES COMPLEMENTARIAS UTILIZADAS	36
3.3. DISEÑO FINAL DE LA PROPUESTA	37
3.4. ANÁLISIS DE LA IDEA DEL PROTOTIPO	39
3.4.1. MECÁNICA Y OBJETIVOS DEL JUEGO	40
3.4.2. ESTRUCTURA DEL JUEGO	40
4. DESARROLLO DE LA PROPUESTA	42
4.1. INSTALACIÓN DE PAQUETES	42
4.2. CONSTRUCCIÓN DEL ESCENARIO DEL JUEGO	42
4.2.1. AMBIENTE VIRTUAL	42
4.2.2. PERSONAJE	44
4.2.3. CÁMARA VIRTUAL	44
4.2.4. DETECCIÓN DE MOVIMIENTOS	45
4.2.5. SISTEMA DE PUNTUACIÓN	47
4.2.6. INTERFAZ DE MENÚS	49

4.3.	DESCRIPCIÓN DE EJERCICIOS DEL JUEGO	51
4.3.1.	EJERCICIOS NIVEL FÁCIL	51
4.3.2.	EJERCICIOS NIVEL MEDIO	54
4.3.3.	EJERCICIOS NIVEL DIFÍCIL	54
4.4.	COMPLICACIONES Y DETECCIÓN DE ERRORES	54
4.5.	CASOS DE USO Y EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO	55
5.	<u>ANÁLISIS DE COSTES</u>	<u>57</u>
5.1.	COSTES DEL PROYECTO	57
5.1.1.	COSTES DIRECTOS	57
5.1.2.	COSTES INDIRECTOS	58
5.1.3.	COSTES TOTALES	59
5.2.	COSTES IMPLEMENTACIÓN EN ÁMBITO SANITARIO	59
6.	<u>RESULTADOS</u>	<u>61</u>
6.1.	DISCUSIÓN	61
7.	<u>CONCLUSIONES</u>	<u>64</u>
7.1.	RELACIÓN TRABAJO CON ESTUDIOS CURSADOS	65
8.	<u>TRABAJOS FUTUROS</u>	<u>66</u>
9.	<u>BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS</u>	<u>67</u>
	<u>ANEXOS</u>	<u>73</u>
A.1.	INSTALACIÓN DE LA APK DE UNITY A TRAVÉS DE SIDEQUEST	73
A.2.	INSTALACIÓN DE LA APLICACIÓN OCULUS	74
A.3.	RETRANSMISIÓN DE LA APLICACIÓN	77

Índice de figuras y tablas

Figura 1. Estereoscopio invento de Charles Wheatstone.	15
Figura 2. Blue Box simulador de vuelos.	15
Figura 3. Primer casco de Realidad Virtual.	16
Figura 4. Máquina revolucionaria Sensorama.	16
Figura 5. RB2, el primer sistema de Realidad Virtual.	16
Figura 6, Figura 7. Primera y segunda generación de las Oculus Rift.	16
Figura 8. Mark Zuckerberg presentando las Oculus Go de Facebook.	17
Figura 9. RV en entornos de salud.	18
Figura 10. Dispositivo PneuGlove de RV.	19
Figura 11. Dispositivo Kinect Xbox.	20
Figura 12. Omni VR sistema para pacientes de edad avanzada.	21
Figura 13. Esquema del círculo vicioso, elaboración propia.	25
Figura 14. Logo de Unreal Engine.	28
Figura 15. Logo de Unity.	29
Figura 16. Logo de Game Maker Studio.	29
Figura 17. Tabla de comparación entre plataformas desarrollo, elaboración propia.	30
Figura 18. Interfaz de Unity.	31
Figura 19. Sección que ofrece Unity Hub para la comunidad de usuarios.	32
Figura 20. Unity Asset Store.	32
Figura 21. Lista de plataformas disponibles en Unity.	33
Figura 22. Gafas Google Cardboard.	34
Figura 23. Gafas HTC Vive.	34
Figura 24. Gafas Oculus Quest 2.	35
Figura 25. Tabla de comparación entre dispositivos de RV, elaboración propia.	35
Figura 26. Transferencia de archivos en SideQuest.	36
Figura 27. Plataforma de animaciones Mixamo.	37
Figura 28. Diseño de la propuesta de solución, elaboración propia.	37
Figura 29. Diagrama de la estructura del juego, elaboración propia.	41
Figura 30. Entorno virtual naturaleza.	43
Figura 31. Modelo 3D del trampolín y piscina.	43
Figura 32. Escenario final del entorno.	43
Figura 33. Personaje 3D.	44
Figura 34. Editor de animaciones de Unity.	44
Figura 35. Cámara OVR Rig.	45
Figura 36. Código que mide la distancia de los mandos.	46
Figura 37. Código del temporizador del ejercicio.	46
Figura 38. Editor del temporizador en Unity.	46
Figura 39. Escala de valoración anímica.	47
Figura 40. Código del sistema de puntos.	47
Figura 41. Representación de la valoración de los jueces.	48
Figura 42. Código de la suma total de puntuaciones.	48
Figura 43. Tabla de puntuación del ejercicio.	48
Figura 44. Menú principal del juego.	49
Figura 45. Botón de información del menú principal.	49
Figura 46. Sistema de opciones del juego.	50
Figura 47. Niveles del juego.	50
Figura 48. Ejercicios del nivel fácil.	51
Figura 49. Ejercicio figura triángulo.	51
Figura 50. Ejercicio figura cruz.	52
Figura 51. Ejercicio figura brazo derecho.	52

<i>Figura 52. Ejercicio figura brazo izquierdo.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 53. Ejercicio figura círculo.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 54. Advertencia error en consola Unity.</i>	<i>54</i>
<i>Figura 55. Prueba de fondo con imagen 360°......</i>	<i>55</i>
<i>Figura 56. Diseño encuesta Google.</i>	<i>55</i>
<i>Figura 57. Tabla de costes totales del proyecto, elaboración propia.</i>	<i>59</i>
<i>Figura 58. Tabla de costes en el ámbito sanitario, elaboración propia.</i>	<i>60</i>
<i>Figura 59. Resultados encuesta experiencia virtual.</i>	<i>61</i>
<i>Figura 60. Resultados encuesta malestar encontrado.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 61. Resultados encuesta accesibilidad app.</i>	<i>62</i>
<i>Figura 62. Resultados encuesta característica representativa.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 63. Resultados encuesta información proporcionada.</i>	<i>62</i>
<i>Figura 64. Resultados encuesta dificultad ejercicios.</i>	<i>63</i>
<i>Figura 65. Resultados encuesta aplicabilidad app.</i>	<i>63</i>

Índice de abreviaturas

2D:	Dos Dimensiones
3D:	Tres Dimensiones
ACV:	Accidente Cerebrovascular
APK:	Android Application Package
DIP:	Distancia Interpupilar
EV:	Entorno Virtual
FBX:	Filmbox
GML:	Game Maker Language
HMD:	Head Mounted Display
HTC:	High Tech Computer
HURO:	Human Robotics
iOS:	iPhone Operative System
LCD:	Liquid Crystal Display
PC:	Personal Computer
PS4:	PlayStation 4
PS5:	PlayStation 5
RA:	Realidad Aumentada
RB2:	Reality Build for Two
RM:	Realidad Mixta
RV:	Realidad Virtual
TCC:	Terapia Cognitiva Conductual
TDAH:	Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad
TIC:	Tecnologías de la Información y la Comunicación
TSK:	Tampa Scale for Kinesiophobia
UC3M:	Universidad Carlos III de Madrid
USB:	Universal Serial Bus

Glosario

Evaluación Fugl-Meyer: análisis completo del grado de recuperación motora del miembro superior tras un ACV.

Hemiplejia: trastorno del cuerpo del paciente, en el que tiene lugar la parálisis de la mitad del cuerpo.

Prueba Caja y Bloque: test que mide la destreza de las extremidades superiores de forma rápida y sencilla.

1. Introducción

Nuestro cuerpo está formado por huesos, ligamentos, músculos y millones de nervios para tener un correcto funcionamiento y ser capaces de movernos, realizar las funciones más importantes y las tareas del día a día, pero si cerramos los ojos por un momento e imaginamos que de repente nos desaparecen las piernas del cuerpo, no sabríamos muy bien cómo adaptarnos a la situación, ni cómo levantarnos y desplazarnos como lo hacíamos antes, ni cómo subir por las escaleras, ni cómo posicionar nuestro cuerpo para no caer al suelo, e incluso sentiríamos miedo o la sensación de encontrarnos en peligro (TEDx Talks 2017).

Es por ello, por lo que desde niños no sólo nos enseñan a reducir el riesgo de caídas, sino que de manera conductual aprendemos cómo a través de la información visual y auditiva que percibimos mientras caminamos se puede llegar a controlar nuestro comportamiento al andar. Nadie nos prepara para esquivar objetos al desplazarnos, nadie nos comunica que a un paso de distancia nuestro pie va a tropezarse con la pata de la cama, nadie nos dice en qué momento debemos girar nuestro cuerpo al llegar a una esquina de la calle, no hay comunicación mientras nos movemos.

Es a través de la visión, mediante la cual percibimos la velocidad a la que nos movemos, la longitud de los pasos que dan nuestros pies y la dirección que debemos tomar al desplazarnos; mediante el oído, logramos mantenernos en equilibrio y en alerta de cada sonido del entorno; y por medio de la propiocepción, detectamos la posición de las articulaciones para enviarla al cerebro y que se procese para realizar los movimientos correctos (Tarantino Ruíz 2004); finalmente, integrando estos datos tan valiosos, podemos ser independientes y capaces de conducir nuestro cuerpo de la manera que queramos.

Por tanto, si pudiéramos controlar de alguna manera la información que nos proporcionan los sentidos, en su mayor medida la información visual y auditiva, podríamos entrenar y obtener la salida motora que deseemos sin que haya ningún riesgo o sensación de malestar. Actualmente, podemos conseguirlo introduciéndonos en la Realidad Virtual (RV), para interactuar en un entorno controlado y personalizado y usarlo para conducir nuestras habilidades motoras.

El ejemplo de ejercicio de imaginación comentado se llevó a cabo en una de las conferencias de TEDx (TEDx Talks 2017) en la que se valoraba la aplicación de la RV en el ámbito de la fisioterapia y la rehabilitación. En este contexto, lo que resulta más interesante es llevar a la práctica esta nueva técnica que sustituye la metodología clínica usada en la rehabilitación cuando un paciente siente miedo y es incapaz de movilizarse para realizar la terapia tradicional siquiera. Es en este tema en el que se va a centrar el presente proyecto y a realizar un estudio e implementación de los entornos virtuales en la kinesiophobia, cuyo trastorno motor provoca a las personas sentir miedo al movimiento.

Utilizar la RV, es sumergirse en un sistema basado en un ambiente generado por un ordenador, en el que es posible situarse en cualquier escenario de la realidad sin la necesidad de desplazarse. Gracias a las grandes tecnologías y poderosas herramientas que lo consiguen, cabe la posibilidad de que el personaje se pueda mover por el entorno, interactuar con los objetos que contiene, visualizar y percibir sensaciones reales a través de la información visual y auditiva que se les ofrece a los usuarios en un mundo virtual.

Es por ello, por lo que se va a trabajar a través de esta tecnología para conseguir analizar e implementar las herramientas necesarias para crear un videojuego con adherencia a un tratamiento para pacientes con kinesiofobia.

1.1. Motivación

Existe una clara necesidad de modernizar los sistemas de los equipamientos de salud para mejorar la gestión, la monitorización y el seguimiento de pacientes, pero en especial es posible utilizar las tecnologías existentes como la RV para facilitar y reducir los costes de los tratamientos tradicionales en el entorno clínico de los hospitales, en departamentos de fisioterapia, psicología, terapia ocupacional, e incluso en los propios domicilios de los sujetos, ya que hoy en día son numerosas las ventajas y beneficios que se obtienen.

Por otro lado, existe un gran impacto del dolor crónico en España, debido a que afecta a la vida personal y profesional de más de 17 millones de españoles (Arrillaga 2019), habiendo un gran desconocimiento en la población y una carencia de especialización en las formaciones de los profesionales sanitarios para ayudarles a tratar el dolor.

Por tanto, la profundización y asociación de ambos temas es lo que se pretende abordar en este proyecto debido a la preocupación que presenta encontrar una solución terapéutica y personalizada que consiga que los pacientes recuperen sus hábitos saludables y confíen en que una mejor calidad de vida es posible.

1.2. Objetivos

El objetivo principal consiste en desarrollar una aplicación de RV que permita guiar al paciente en la realización de movimientos terapéuticos necesarios para su recuperación.

En concreto, se pretenden alcanzar los siguientes objetivos específicos:

- Realizar un estudio básico sobre la kinesiofobia y las alternativas terapéuticas actuales para mitigar su impacto.
- Realizar un estudio de software similar usado en el entorno de la rehabilitación y detectar sus fortalezas y debilidades.
- Realizar un estudio sobre las principales plataformas de desarrollo de aplicaciones de RV y seleccionar la más adecuada al objetivo principal de este trabajo.
- Diseñar un juego que sirva como prueba de concepto usando para ello diferentes plataformas de desarrollo de aplicaciones de RV.
- Dotar al software de una funcionalidad completa, aunque limitada en el número y tipología de ejercicios.
- Realizar pruebas de uso sobre usuarios para probar la bondad de la aplicación.

1.3. Metodología

La metodología se basa en realizar un enfoque top-down en el que se indaga a partir de dos grandes campos como son la kinesiofobia, que engloba el estudio de sus factores, efectos y tratamientos, y el campo de la tecnología de la RV y su capacidad para conseguir beneficios terapéuticos. A partir de esta distinción, es posible destinar el conocimiento adquirido a conseguir una solución tecnológica orientada a disminuir la preocupación que suscita la patología de este trabajo.

Los recursos de información analizados van a favorecer al diseño y desarrollo de una aplicación de RV que pueda actuar como tratamiento para mitigar el impacto de la kinesiofobia en pacientes. Una vez se hayan completado los requisitos que conlleva la implantación de la aplicación, se pondrá en funcionamiento con el propósito de realizar pruebas con simulaciones de pacientes y obtener una evaluación que retroalimente positivamente la técnica de RV.

2. Estado del arte

En el presente estado del arte se van a presentar seis temas fundamentales en este proyecto: la Realidad Virtual como concepto, la breve historia de la Realidad Virtual, la Realidad Virtual en el ámbito sanitario, previas aplicaciones de Realidad Virtual en la rehabilitación, potenciales ventajas y limitaciones de la Realidad Virtual en rehabilitación, y finalmente, la kinesiofobia.

2.1.1. La Realidad Virtual como concepto

La RV consiste en un sistema de simulación de un entorno realista o imaginario y que se representa en tres dimensiones (3D), de manera que proporciona una experiencia inmersiva e interactiva al usuario, con la que puede tomar el control del ambiente diseñado como si de la realidad se tratara (Innovae 2021; Studylib 2019).

Para definir a la RV, se han conseguido extraer 3 características fundamentales que sirven para diferenciarla de las animaciones en 3D tradicionales o imágenes 360°, y estas son:

- **Capacidad de inmersión.** Es el hecho de dejarse llevar por los estímulos que se perciben y tener la sensación de encontrarse físicamente presente en el mundo virtual.
- **Interacción.** Existe una relación directa entre realizar acciones a través de los mandos o la proyección de las propias manos y producir una respuesta en el entorno y sus elementos.
- **Tiempo real.** La posición del usuario se representa en el entorno en tiempo real y es posible elegir la dirección de la navegación y controlar la mirada en todo momento.

Según el sistema o el dispositivo, la capacidad de inmersión puede variar dando lugar a tres tipos de RV existentes (Andrés Montes de Oca 2020):

- **Realidad Virtual inmersiva.** El usuario se encuentra dentro de un mundo virtual e interactivo que reemplaza a la realidad física, e involucra los diferentes sentidos a través de gafas de RV, cascos HMD, joysticks, guantes o incluso exoesqueletos que facilitan al usuario sumergirse al completo en la experiencia sensorial.
- **Realidad Virtual semi-inmersiva.** No hay una total inmersión, el usuario percibe parte del mundo real y parte del mundo virtual. Las gafas ayudan a detectar el movimiento de la cabeza y el escenario 3D se proyecta en un conjunto de pantallas.
- **Realidad Virtual no inmersiva.** Simulación del EV que el usuario puede experimentar a través de una pantalla situada a cierta distancia, que sirve de ventana hacia el mundo virtual. En este caso, no se hace uso de gafas, pero sí que es posible la interacción a través del teclado y ratón de un ordenador.

2.1.2. Breve historia de la Realidad Virtual

Actualmente, se asocia la RV a nombres y marcas como Facebook, Oculus o Samsung que han triunfado en la aplicación de esta nueva tecnología en la industria de los videojuegos durante las últimas décadas, pero para encontrar a los verdaderos creadores de este nuevo concepto de visualización de imágenes virtuales debemos remontarnos dos siglos atrás (Dausens 2018; Espacio Visual Europa 2018).

Fue en el año 1836 cuando Charles Wheatstone inventó el estereoscopio (Connelly et al. 2010), el utensilio con el que observaba dos imágenes tradicionales e idénticas, una por cada ojo y permitía que el cerebro las interpretara como una sola imagen; esto adquiría cierta profundidad en la imagen observada y abría un nuevo mundo de visores de RV.



Figura 1. Estereoscopio invento de Charles Wheatstone.

En torno al 1929, Edwin Link creó el Blue Box (Gil 2021), utilizado para el entrenamiento militar de pilotos, mediante una especie de cabina azul que incluía los principales instrumentos para el control del vuelo. Esto permitía mostrar a los usuarios un panorama muy similar al de un vuelo.



Figura 2. Blue Box simulador de vuelos.

En torno a 1960, la compañía Philco Corporation, consiguió desarrollar el primer casco con visualización simultánea que mostraba entornos virtuales generados por un programa de diseño mediante un computador y registraba los movimientos de la cabeza para lograr desplazamientos en el ambiente. Pero no fue hasta unos años después cuando se empieza a emplear oficialmente el término de “Realidad Virtual” y se crea Sensorama, una máquina cuyo funcionamiento revolucionario se encargaba de proyectar imágenes en 3D, que además reproducía sonidos estéreo, aromas, viento y vibraciones conforme aparecían las imágenes en pantalla. Un gran acercamiento a la creación de un sistema de realidad virtual, pero sin ser interactivo (MR informática 2019).



*Figura 3. Primer casco de Realidad Virtual.
Figura 4. Máquina revolucionaria Sensorama.*

En 1984 se distribuyó comercialmente el primer dispositivo de RV, el Reality Build for Two (RB2). Este sistema permitía tocar e interactuar con objetos virtuales a través de unos guantes conectados a las gafas con auriculares incluidos.

Diferentes sectores se interesaron por el campo de la RV, la NASA en 1986, empezó a utilizar esta tecnología e incorporar un campo de visión más amplio, dos pantallas, un control por voz y un sistema de reconocimiento de movimientos por guantes, pero pronto se llegó a la conclusión de que el sector de los videojuegos era el que más posibilidades de comercialización ofrecía, como la compañía SEGA VR (Sega Fandom s. f.) o la empresa japonesa Nintendo, que también se sumó a los proyectos de juegos de RV, lanzando la Virtual Boy (Croft 2018).



Figura 5. RB2, el primer sistema de Realidad Virtual.

En los años 90, la RV cayó en desuso. Hasta que un joven aficionado de las consolas le dio un impulso al mundo virtual y diseñó las Oculus Rift en 2012: las gafas se conectaban a un ordenador con más potencia que en los casos anteriores, generaba un software y se representaba dividiendo en dos la pantalla del visor, de manera que se percibiera como una sola imagen.



Figura 6, Figura 7. Primera y segunda generación de las Oculus Rift.

Con este nuevo lanzamiento la RV volvió a ponerse de moda, estas gafas más sofisticadas, contaban con aplicaciones realizadas con una gran interfaz gráfica que permitía que los usuarios se teletransportaran virtualmente e interactuaran con los propios videojuegos de manera inmersiva. Esto fue lo que conllevó a que Facebook comprara la empresa pionera en 2014, con la intención de convertir esta tecnología en plataforma de otras experiencias como un medio de comunicación. Esto, llamó la atención a empresas del sector, acelerando la creación de nuevos cascos de RV como Samsung, Sony o HTC Vive (Riloba 2014).



Figura 8. Mark Zuckerberg presentando las Oculus Go de Facebook.

2.1.3. La Realidad Virtual en el ámbito sanitario

El avance en el desarrollo de la tecnología de la RV a lo largo del tiempo ha aportado grandes utilidades enfocadas al ocio y al entretenimiento de la sociedad, pero también ha permitido la obtención de grandes beneficios en otras disciplinas, como en la medicina. Esta tecnología ha llegado al sector de la salud abriendo un gran abanico de posibilidades y suponiendo grandes cambios de mejora para conseguir más precisión y efectividad en el trabajo de los profesionales sanitarios, como, por ejemplo, en las operaciones quirúrgicas, en la detección y tratamiento de enfermedades, o en la formación sanitaria.

Hoy en día, es posible la aplicación de la RV en casi todas las ramas de la salud. En la cirugía, la RV puede representar con exactitud escenarios de la realidad, así como una sala de quirófano y el cuerpo anatómico de un paciente, con el propósito de introducir al especialista en el mundo virtual, practicar los pasos a seguir y ganar experiencia y confianza antes de llevar a cabo la intervención con el paciente real. De esta manera, se reducen los costes de implementación de materiales y maquinarias en ejecución y disminuye el riesgo de complicación de las cirugías (BaboonLab s. f.).

En cuanto a la prevención y detección de enfermedades, la RV se puede aplicar en aquellos ámbitos donde se requiere una estimulación, un entrenamiento o una recuperación cognitiva, dependiendo de los procesos mentales que se analicen mientras se introduce al paciente en un entorno determinado. Al mismo tiempo que se le dan unas instrucciones y realiza una serie de actividades sencillas, se le evalúan diversas funcionalidades como la coordinación, la velocidad de procesamiento, o la flexibilidad

cognitiva para detectar enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer (Hyde et al. 2016) o trastornos en la atención como el trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH) (Rodríguez et al. 2018). Una vez realizado el diagnóstico de una patología en consulta, la RV también puede intervenir para ayudar al paciente a que de forma totalmente inmersiva siga los tratamientos psicológicos, de rehabilitación o de fobias (Baños Rivera et al. 2001).

El carácter personalizable de la herramienta ejerce un papel fundamental para conseguir que el paciente quede expuesto a un escenario que reproduzca la situación que más estimule sus respuestas de ansiedad, miedo o dolor para enfrentarse a ellas. En este caso, el experto sanitario puede supervisar y modificar el grado de interacción con la aplicación o concluir la sesión del tratamiento si lo necesita, de modo que finalmente esta implantación proporcione y suponga una ayuda para mejorar la práctica clínica de los profesionales (Two Reality s. f.).

En la formación sanitaria, también se logra un aprendizaje inmersivo dedicado tanto para los estudiantes de medicina, como para los profesionales de la salud. Se caracteriza por la simulación de los escenarios médicos, donde es imprescindible aprender a reconocer las estructuras del cuerpo humano, manejar la toma de decisiones en situaciones críticas, conocer el funcionamiento de distintos equipos y materiales sanitarios, mejorar las habilidades y la interacción con los pacientes virtuales.

Además, se ha valorado positivamente la utilización de la herramienta como una ayuda complementaria en el trabajo de los asistentes de enfermería. Ya que ha resultado ser eficaz para controlar y cuidar a los pacientes, mientras son sometidos a procesos invasivos y deben esperar largos períodos de tiempo o necesitan técnicas de relajación para calmar el dolor o estrés que se le genere (Fernández García y Martínez-Arnau 2017).



Figura 9. RV en entornos de salud.

Un problema asociado a los usuarios que utilizan la RV es que, como resultado de su uso suele causar efectos adversos como mareos, dolores de cabeza y sensación de desequilibrio. Estos efectos suceden en su gran mayoría en las primeras experiencias inmersivas, y se relacionan con la dificultad de adaptación a la interfaz, problemas en el procesamiento sensorial y el tiempo de retardo entre su interacción en el mundo real y su simulación en el virtual. Sin embargo, los síntomas disminuyen moderadamente

conforme aumenta el número de sesiones utilizando dispositivos de RV, de forma que el organismo se entrena y logra acostumbrarse al nuevo entorno. A excepción de un pequeño grupo de personas que siempre sufrirá molestias y no alcanzará la total adaptación a la RV (Jimeno-Morenilla y Puerta 2007).

2.1.4. Previas aplicaciones de Realidad Virtual en la rehabilitación

Para analizar las diferentes aplicaciones de la Realidad Virtual en diversos campos de la rehabilitación es necesario conocer que el efecto de una terapia virtual especializada puede ser notablemente positivo o puede que no desarrolle ninguna mejora con respecto a un tratamiento convencional. Es por ello, por lo que el estudio de la utilización de la RV en la rehabilitación empezó a realizarse con pacientes con ictus, de movilidad reducida en los miembros dañados, donde en un primer momento se evaluaba la destreza y la dificultad que les ocasionaba realizar ejercicios con este tipo de tecnología (Viñas-Diz y Sobrido-Prieto 2016).

Tras las buenas sensaciones obtenidas con el experimento, se extendió a estudios de pacientes a los que no sólo se les evaluaba la eficacia de la RV como nueva implementación en el campo, sino que también se profundizó en los fines terapéuticos que podía conseguir y en qué medida podía mejorar la vida y función motora de este tipo de pacientes.

El guante PneuGlove (Connelly et al. 2010), consistía en el entrenamiento del paciente post-ACV (accidente cerebrovascular) para mejorar la movilización de las manos al coger y soltar objetos tanto reales como virtuales. Para evaluar y demostrar que el guante tenía eficacia de recuperación de la función motora del miembro superior del paciente, se consiguieron dos grupos de pacientes, un grupo tendría sesiones de rehabilitación utilizando el guante y el otro realizaría las mismas sesiones sin usar este dispositivo. Tras varias semanas, los resultados que se obtuvieron mediante la evaluación Fugl-Meyer y las pruebas de Caja y Bloque, dieron a conocer que los pacientes que realizaron las pruebas con el PneuGlove habían sufrido algunas mejoras significativas con respecto a los otros sujetos.

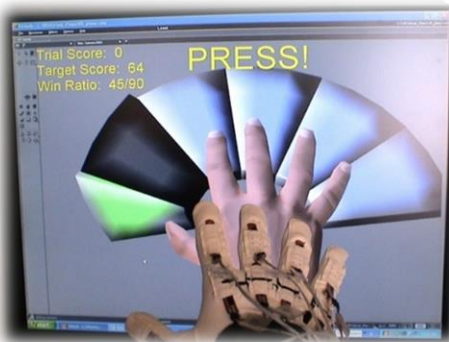


Figura 10. Dispositivo PneuGlove de RV.

En otro estudio que se realizó con pacientes que habían sufrido un ACV además de una hemiplejía, se investigó la utilización de la RV con el sensor Kinect de Xbox (Sin y Lee 2013) para entrenar las extremidades superiores como técnica suplementaria al tratamiento convencional, junto a un grupo control. En este caso, también se evaluaron las pruebas de Fugl-Meyer y de Caja y Bloque y se observó cómo habían mejorado a lo largo del tiempo las extremidades superiores del grupo que utilizó el Kinect en el tratamiento frente al que no. Cabe indicar que el origen de conseguir resultados positivos podía encontrarse en que el grupo experimental fue intervenido un mayor tiempo total (sumando la terapia convencional y la virtual).



Figura 11. Dispositivo Kinect Xbox.

En pacientes con ACV y trastornos de equilibrio y movilidad también se ha intervenido para evaluar la eficacia de un tratamiento de rehabilitación basado en los entornos virtuales (EV). La organización de uno de los estudios utilizó una sala con una cinta de correr y un proyector para mostrar grabaciones de caminos y senderos del mundo real (Darekar et al. 2015). El terapeuta utilizó este escenario como técnica para exponer al paciente de manera gradual y sin riesgos al entrenamiento de marcha motora, obteniendo parámetros acerca de la longitud, la velocidad o el tiempo del paso y resultados positivos que indicaron la mejora del equilibrio y el paseo independiente. Los límites fueron la escasez de un entrenamiento adecuado y personalizado que lograra la total recuperación de los pacientes.

Investigadores de la Universidad Carlos III de Madrid (UC3M) desarrollaron un software (UC3M 2016) que mediante la utilización de las gafas Oculus Rift permitía realizar sesiones de rehabilitación a los pacientes con dificultades en el movimiento del hombro. Este prototipo consistía en un EV de un campo de fútbol en el que el paciente se convertía en el portero y debía realizar movimientos muy precisos y exactos con los brazos para parar el balón cuando se le acercara. El feedback resultó muy positivo, debido al reconocimiento de las posibles mejoras en la articulación del hombro, el aumento de la masa muscular y su fortalecimiento sin la necesidad de desplazarse a un terreno de juego, pero aún con el propósito de seguir investigando cómo rehabilitar realizando movimientos de rotación y de otras partes del cuerpo.

Omni VR (Fitness-gaming 2015), es un sistema de rehabilitación virtual que utiliza un programa para recuperar la calidad de vida de los pacientes de edad avanzada que han sufrido un ACV. El sistema se adapta a las necesidades de cada jugador, ofreciéndole una terapia en la que realiza ejercicios agradables y divertidos, acompañado de un fisioterapeuta para la guía y supervisión en todo momento. El programa ofrece diferentes tipos de rehabilitación, para mejorar sus habilidades funcionales, a través del fortalecimiento de los músculos, el equilibrio y el movimiento. Tanto los pacientes como los terapeutas especializados observan grandes ventajas en el aumento de casos de adherencia al tratamiento y la participación de forma continuada, dejando atrás algunas de las limitaciones que encontraban en la rehabilitación física convencional.



Figura 12. Omni VR sistema para pacientes de edad avanzada.

2.1.5. Potenciales ventajas y limitaciones de la Realidad Virtual en rehabilitación

En cuanto a las ventajas que ofrece la RV en el contexto terapéutico (Ruíz Robledillo 2021) en comparación con las técnicas tradicionales se encuentran algunas como:

- **Exposición.** El hecho de exponer al usuario a cualquier situación que pueda experimentar o no en la realidad, puede ayudar a los pacientes con fobias a aceptar los tratamientos y a afrontar los miedos.
- **Diseño y personalización.** Es posible diseñar a medida y con todo detalle el escenario donde se va a situar al paciente, así como exponerle gradualmente al entrenamiento según sus necesidades.
- **Inmersión.** Es posible adentrar al paciente en un mundo inmersivo donde tiene lugar la estimulación multisensorial del sistema visual, auditivo, vestibular y propioceptivo.
- **Múltiples contextos.** La RV permite generar múltiples escenarios y situaciones reales o ficticias en las que se expone al paciente.
- **Reducción de los costes.** El tratamiento con esta herramienta resulta más económico debido a que, aunque se realice en una consulta o domicilio, permite desplazarse virtualmente a cualquier lugar y en cualquier momento

de manera gratuita, reduciendo también costes en la utilización de equipos y materiales para las sesiones.

- **Confidencialidad.** En ocasiones la exposición tradicional en vivo puede someter al paciente a exponer su trastorno o fobia en público, en este caso, tan solo se rodea del profesional a su cargo, creando un ambiente más intimista, seguro y cómodo para él.
- **Identificación.** El profesional en todo momento puede observar los movimientos que realiza el paciente tanto en la realidad como en la proyección del mundo virtual, por tanto, es posible identificar con mayor facilidad cuáles son sus debilidades y fortalezas.
- **Gamificación.** La propuesta de objetivos, metas y niveles propios de un juego compromete al paciente a continuar con los ejercicios que se le presentan, motivado por conseguir las recompensas y bonificaciones.
- **Tecnología atractiva.** La experiencia virtual incluye juegos y ejercicios que resultan divertidos, novedosos, menos repetitivos y entretenidos en los que pueden participar pacientes de todas las edades.
- **Desarrollo de habilidades motoras y cognitivas.** Mediante el uso de la RV, se estimulan células del cerebro que antes se encontraban inactivas, y que transmiten información controlando los movimientos de las articulaciones en relación con el medio virtual.

A pesar de las ventajas de la RV, el creciente avance en el desarrollo de las tecnológicas y la actualización de algunos métodos clínicos, la implantación de estos sistemas de RV sigue contando con algunas limitaciones que pueden dificultar su adopción, entre ellas se puede identificar:

- **Coste del hardware y software.** Encontrar un hardware que sea tan bueno como el software y a buen precio es una labor difícil, pero con el moderado aumento de su consumo y comercialización, se estima conseguir unas gafas de RV con buena relación calidad-precio al alcance de todos en los próximos años.
- **Pesadez del hardware.** El peso de un casco de RV ronda los 500 gramos, pudiendo provocar cefaleas y sensación de desorientación si se realiza un uso prolongado en el tiempo.
- **Dificultad de adaptación e inmersión.** Las primeras veces que se sitúa la persona en un EV y cerrado en el que se sustituyen las entradas visuales y auditivas, puede alterar la estabilidad de la persona y dificultar su experiencia de adaptación e inmersión.
- **Falta de familiarización con tecnologías.** El uso de controladores inalámbricos con diferentes botones y funcionalidades puede ralentizar este proceso de adaptación del sujeto a la tecnología.

- **Resolución pantallas.** En algunos casos, los visores que contienen este tipo de gafas no adecúan la resolución para cada aplicación, por lo que pueden dañar la sensibilidad visual del jugador y producir mareos.
- **Latencia.** El tiempo de retardo que transcurre entre que el usuario realiza un movimiento y este se visualiza en pantalla, produce incomodidad y fatiga visual que afecta al bienestar del usuario.
- **No sustituye totalmente a la realidad.** Cuántas más vías sensoriales se estimulan en el sujeto, más próximo se encuentra de la realidad y más siente que forma parte de él (Robles García 2018), a pesar de esto, la RV no logra sustituir en su totalidad a la exposición real.

2.1.6. La kinesiofobia

¿Qué es?

La kinesiofobia es el término que hace referencia al “miedo al movimiento”. Es el temor que se desarrolla en los pacientes cuando tienen un dolor persistente, que conlleva normalmente a la evitación de la actividad, convirtiéndose, si se mantiene con el paso del tiempo, en una incapacidad funcional (López Cubas 2017).

En algunos casos clínicos, en los que se diagnostica una lesión, enfermedad ósea o muscular, por tendencia natural se suele recomendar el reposo y la inmovilización de ciertas partes del cuerpo para no sufrir molestia en la zona con dolor. Por tanto, existe un grado de inmovilización adecuado ofrecido para fomentar la recuperación, a diferencia de otro grado más prolongado, el provocado por el dolor que persiste durante más de 3 meses y es en el que tiene lugar la kinesiofobia. En esta situación patológica se tiende a pensar que realizar cualquier mínimo movimiento que implique la movilización del área lesionada empeorará su recuperación.

Existen otros casos en los que se aconseja un tratamiento basado en ejercicios para rehabilitar la zona de la lesión, pero la kinesiofobia se adueña de los pacientes y les impide practicar el tratamiento por pensar en el dolor que les puede causar. (Margarita González 2014). Esta situación acaba agravando la sintomatología, así como se ha definido a través de diferentes estudios (Ainsa 2019; Knapik, Saulicz, y Gnat 2011), existe una clara relación entre el miedo y el dolor en los procesos dolorosos, donde a medida que aumenta el miedo en los pacientes, aumenta la gravedad de sus síntomas.

La evitación de ejercicios provocada por el miedo tiene naturalmente consecuencias negativas, como la pérdida de motivación en realizar las actividades que nos permiten mantener hábitos saludables y una vida social activa, causando finalmente trastornos en el estado de ánimo, irritabilidad, frustración, ansiedad, emociones negativas

en general y aislamiento social. Estos sentimientos son los que principalmente le perpetúan el dolor al sujeto y le convierten en un paciente con dolor crónico.

En el caso del dolor agudo, es un dolor breve que se presenta repentinamente, con gran intensidad y la causa es muy evidente como una quemadura, un esguince de tobillo o una fractura. Contrariamente, el dolor crónico se presenta de forma difusa, es persistente, de duración longeva, mínimo 6 meses y puede no tener una causa aparente, como ocurre con la lumbalgia crónica, donde se padece dolor en la zona lumbar sin la necesidad de haberse producido un accidente en la zona concreta previamente. En estos casos, el dolor perdura debido a que no existe ningún tratamiento con éxito, aunque pueden influir más factores en la producción del dolor crónico, como el sexo, la genética, el estado de ánimo o tener más predisposición a padecer trastornos psicológicos. (Dr. Nash 2019; Sersana 2021)

Los pacientes expresan un malestar generalizado, incertidumbre, sensaciones desagradables difíciles de controlar y emociones negativas, que poco a poco se convierten en miedo a afrontar el dolor. El miedo resulta totalmente incapacitante para realizar ciertas actividades del día a día y llevar una vida plena y feliz, asimismo, sentir que el dolor no finaliza, en ocasiones produce un pensamiento catastrófico que participa en su cronificación, agota a la persona, fomenta el sedentarismo, la rigidez corporal y consecuentemente empeora su tratamiento, pudiendo provocar ansiedad o depresión. (Europa Press 2019; Monteagudo, Bach, y Baviano 2018)

El dolor crónico y las manifestaciones emocionales.

El dolor es el mecanismo de defensa que nos avisa que algo no funciona correctamente en nuestro cuerpo, pero el dolor crónico es la enfermedad en la cual intervienen las emociones. Es por ello por lo que existe una gran relación entre el dolor crónico y las emociones negativas. Este dolor llega a ser tan fuerte que produce reacciones emocionales en la persona que antes no había experimentado. Entre toda una gama de emociones negativas, las que más destacan entre los pacientes son la ansiedad, la depresión y la ira, y al mismo tiempo se ha observado que la presencia de estas emociones es capaz de intensificar el dolor que sienten. (Peñacoba Puente 2009)

La depresión supone una de las respuestas emocionales más frecuentes asociada al dolor. En el tratamiento antidepresivo, el dolor crónico resulta resistente a la intervención por el profesional médico, ya que la depresión puede ser la causante de tal resistencia y cronificación. Por tanto, desencadena una mayor interferencia de dolor en sus vidas. (Arango Dávila y Rincón Hoyos 2018; Margarita González 2014)

La ansiedad es la respuesta natural al dolor que más temprana se puede observar, y capaz de potenciar más el dolor. Si el paciente se encuentra en una situación de dolor crónico y empieza a notar síntomas de ansiedad, episodios de sentimientos repentinos de pánico intenso, miedo o terror, es entonces lo que le llevará al paciente a magnificar el

dolor. Siendo, por tanto, las personas con dolores crónicos, las personas que presentan más niveles de ansiedad.

Finalmente, la emoción negativa que más tiene lugar es la ira. Asociada al sentimiento de agotamiento tras ver que el dolor persiste, a la frustración que conlleva coleccionar una serie de tratamientos fallidos y a los estallidos de rabia debido al propio dolor y al desconocimiento de su origen.

El círculo vicioso (Montaño Ocaña 2012)

Tal y como se ha comentado, se produce una perpetuación del patrón crónico a partir de que se incrementan las creencias erróneas sobre el dolor y sobre que con cualquier movimiento se va a intensificar el dolor, provocando en el paciente la sensación de miedo. El miedo al dolor conlleva normalmente a la evitación de la actividad física, la disminución de reforzadores positivos como actividades que incentivan llevar un buen estilo de vida y consecuentemente, la reducción de las relaciones sociales, el aumento de estrés, bajas laborales, y la falta de motivación acompañada de emociones negativas, provocan la vuelta al punto inicial en el que se perpetúa el patrón crónico.



Figura 13. Esquema del círculo vicioso, elaboración propia.

Por tanto, existen dos maneras de hacerle frente al dolor y al círculo vicioso que crea. Desde la perspectiva del paciente, una es la forma pasiva y trata de atribuir el control del dolor a situaciones o personas externas, por ejemplo, esperar a que aparezca alguien que haga desaparecer el dolor. La otra es la forma activa, en la que es el paciente el que toma el control y se empodera en el proceso, atribuyéndose la responsabilidad de esforzarse en cambiar su situación, y contar con la ayuda de profesionales que pueden proporcionarle la información necesaria sobre la enfermedad, evolución o tratamiento más actualizado.

Tratamiento de la kinesiophobia

El principal tratamiento que se atribuye al dolor crónico se basa en la recomendación del movimiento físico, necesario para devolver al paciente la calidad de vida y mantener un ritmo saludable (Pareja 2017). La fisioterapia como encargada del movimiento y funciones motoras, trabaja el ejercicio terapéutico con la finalidad de reducir el temor y aumentar la movilidad del paciente. Las actividades que se emplean no tratan de reactivar los tejidos dañados del organismo, ya que generalmente estos se encuentran perfectamente, y no se relacionan directamente con el dolor, sino que se expone de manera gradual al paciente a ejercicios de recuperación de las funciones y los movimientos que no han sido designados como dolorosos. De modo que poco a poco se vaya potenciando el fortalecimiento, el control motor y la actividad física (López Cubas 2017).

Por otro lado, para reducir las cogniciones erróneas y malestar psicológico que pueda sentir, se utiliza el programa de Terapia Cognitiva Conductual (TCC). Es importante que el paciente comprenda qué le ocurre, por qué siente miedo, en qué consiste la terapia y los beneficios que puede alcanzar con ella. Al mismo tiempo que se le explique que el estado psicológico no es la causa del dolor, sino el dolor el que influye negativamente en el estado de ánimo, y su ánimo el que aumente su prolongación (Moix Queraltó y Kovacs 2010). Los distintos estudios sobre la TCC en la kinesiophobia que se han llevado a cabo, han demostrado tener efectos psicológicos positivos, además de conseguir un mayor rango de movilidad y aumentar su satisfacción y adherencia al tratamiento (Cai et al. 2018).

En ambos tipos de tratamientos, para evaluar las correspondientes intervenciones, es posible utilizar la escala Tampa para la Kinesiophobia (TSK) (Gómez Pérez, López Martínez, y Ruíz Párraga 2011) que mide el miedo al dolor y al movimiento.

2.2. Conclusiones al estado del arte

Una vez presentados, por un lado, el concepto de la Realidad Virtual, su historia, implementación en el ámbito de la salud y aplicaciones en la rehabilitación, y por otro lado, la explicación de la kinesiophobia, el grado de preocupación que desarrolla el dolor crónico y sus actuales tratamientos, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

Se ha visto que en los inicios de la RV diversos sectores se interesaron por esta tecnología, aunque fue el ámbito de los videojuegos el que finalmente obtuvo más éxito y comercialización. Poco a poco, se han ido mejorando y adaptando las capacidades de los equipos, para conseguir una inmersión e interacción en tiempo real que ha abierto la posibilidad de aplicar la RV en las diferentes disciplinas de la medicina. Se ha demostrado que la incorporación ha permitido cambios de mejora en el sector de salud, en el trabajo de los profesionales y en la calidad de vida de los pacientes. En las aplicaciones de rehabilitación virtual con pacientes, se han desarrollado escenarios virtuales de gran

calidad y nitidez gráfica que aportan grandes ventajas con respecto a los tratamientos convencionales. Sobre todo, se ha aplicado como tratamiento principal o complementario en pacientes que han sufrido ACV y necesitan recuperar las funciones alteradas y la movilidad independiente. A pesar de todos sus beneficios, aún perduran diversos factores que dificultan su adaptación a la RV.

Por otro lado, se ha investigado que en aquellos pacientes que sienten un dolor persistente en el tiempo, generalmente desarrollan un miedo al movimiento. Se trata de la kinesiofobia, un miedo que en situaciones de dolor agudo ayuda a prevenir más daño, pero que en otras situaciones de dolor crónico se disocia la relación entre el daño causado, su origen y sus síntomas y por tanto, procede a prolongar el dolor. Por consiguiente, se tiende a entrar en un círculo vicioso en el que, a partir de creencias erróneas sobre el dolor, se origina su perpetuación, causando así la evitación de cualquier actividad física y un malestar psicológico que intensifica los síntomas y cronifica el dolor. Actualmente, los tratamientos que se utilizan para combatir la kinesiofobia son los ejercicios terapéuticos y la TCC.

2.3. Propuesta

Se propone la creación de un juego de RV dirigido a los pacientes que sienten kinesiofobia, tras haber sufrido una lesión previa o padecer dolor crónico y hayan desarrollado la sensación de miedo a realizar diferentes movimientos que involucren las extremidades superiores del cuerpo. La aplicación usará la temática de un espacio natural y un trampolín, donde el personaje se deberá situar para realizar los determinados movimientos con los brazos que se le indiquen a través del mundo virtual.

3. Diseño de la propuesta

Para realizar el diseño de la propuesta planteada anteriormente es necesario un primer análisis de las posibles herramientas necesarias para poner en marcha la creación y el desarrollo de la aplicación basada en la RV.

3.1. Análisis de las herramientas de Realidad Virtual

Actualmente, la tecnología de los videojuegos se encuentra en un alto grado de desarrollo y existen gran cantidad de ellos que causan sensación entre los jóvenes y no tan jóvenes, ya sean juegos para ordenadores, móviles, tablets o consolas. Su uso reciente y las constantes actualizaciones y novedades que implementan los juegos que salen al mercado, ha conseguido animarlos a construir sus propios juegos virtuales desde cero. Ciertamente, que jugar a muchos juegos puede ayudar a obtener ideas para implementar en el juego, conocer diferentes mecánicas y posibilidades para conseguir una tarea o realizar una misión, pero esto no va a convertir a los jugadores en diseñadores expertos de ello.

Una de las causas que han incentivado la creación de videojuegos es que existe una gran cantidad de programas especializados que facilitan su desarrollo, la construcción de objetos dentro de escenarios 2D y 3D, las animaciones de los personajes, así como la creación de entornos virtuales compatibles con dispositivos de RV, Realidad Aumentada (RA) o Realidad Mixta (RM).

3.1.1. Plataformas de desarrollo de Realidad Virtual

Es posible encontrar una nutrida oferta de motores de desarrollo de juegos, y dependiendo de las características que ofrecen algunos son más potentes y otros más adaptables. Por tanto, la elección de la mejor plataforma de desarrollo puede ser muy personal con respecto al tipo y la complejidad que se le quiera dar al proyecto, también, depende de las funcionalidades del juego, el realismo del diseño gráfico, el lenguaje de programación, etc. Es por ello, por lo que se va a realizar un breve análisis de las plataformas desarrolladoras de juegos que son compatibles con la RV.

- **Unreal Engine**



Figura 14. Logo de Unreal Engine.

Es una herramienta de alta gama y cierta complejidad, posee una gran calidad gráfica superior a la del resto de plataformas y normalmente es utilizada por usuarios desarrolladores de nivel avanzado. No es gratuita, pero dispone de algunas versiones para proyectos universitarios y permite importar diferentes accesorios y herramientas que dan forma al escenario de forma gratuita.

Utiliza el lenguaje de programación C++, lo cual requiere algunos conocimientos previos antes de su utilización, pero a su vez, también ofrece tutoriales en la propia plataforma y forma una gran comunidad de usuarios dispuestos a resolver las dudas en foros o proporcionar videotutoriales y cursos gratuitos. Es multiplataforma, soporta diversos dispositivos móviles, consolas, ordenadores y sistemas de realidad virtual (Avante 2019).

- **Unity**



Figura 15. Logo de Unity.

Esta herramienta permite crear escenarios en 3D desde cero, aunque no es tan compleja como otros motores, por lo que tanto el aprendizaje como la implementación del entorno es más rápido. Es gratuita y cuenta con la posibilidad de jugar en el propio navegador, además de exportar el juego a diferentes plataformas, y conectar dispositivos de visualización, como gafas Oculus, Google Cardboard o consolas Xbox mientras se encuentra en modo de editor (Linowes 2020; Unity 2021).

Ofrece diferentes tutoriales antes de empezar a crear un proyecto, además de que cuenta con la gran ventaja de que tiene una comunidad de usuarios muy grande que permite que existan multitud de foros y videotutoriales accesibles a través de YouTube. La página oficial también ofrece todo tipo de accesorios para incluir en el proyecto de forma gratuita y que ayudan a ahorrar tiempo de implementación. El lenguaje de programación del que hace uso se basa en C#.

- **Game Maker Studio**



Figura 16. Logo de Game Maker Studio.

Game Maker Studio, es un sencillo sistema de desarrollo de escenarios de videojuegos en 3D, recomendado tanto para profesionales del sector como para usuarios principiantes. Es una forma sencilla de aprender a diseñar un juego que realice las acciones e interacciones entre objetos más básicas.

Define su propio lenguaje de programación como Game Maker Language (GML), que engloba los lenguajes de C++, JavaScript y C#, aunque también permite a los usuarios poder desarrollar un videojuego sin tener una base de programación, ya que el propio programa se encarga de generar código. A causa de ello, esta opción permite ahorrar tiempos de escritura de código y tener una formación del juego más rápida. Se puede ejecutar en diferentes plataformas, pero no en la versión gratuita, y su comunidad de usuarios es mucho menor con respecto a las de los anteriores motores de juego (Tokio School. 2021).

	Complejidad	Calidad gráfica	Coste	Lenguaje programación	Comunidad de usuarios	Multiplataforma
Unreal Engine	Alta	Muy alta	Gratuita	C++	Media	Sí
Unity	Media	Alta	Gratuita	C#	Muy grande	Sí
Game Maker Studio	Baja	Baja	Prueba gratuita	GML (C++, JavaScript, C#)	Pequeña	Sí

Figura 17. Tabla de comparación entre plataformas desarrollo, elaboración propia.

Tras el análisis y como resultado de la comparación de la tabla (*Figura 17*) sobre las distintas plataformas de desarrollo de juegos, es posible determinar cuál de las 3 herramientas se adapta mejor a las necesidades de la propuesta de solución. Por tanto, se ha elegido Unity, la herramienta que cuenta con un potencial bastante alto para la creación y diseño gráfico de escenas de RV, combinado con una interfaz más sencilla e intuitiva de utilizar que Unreal Engine, lo que logra avanzar en el transcurso del tiempo de aprendizaje. Otro aspecto para destacar es que cualquier usuario, aficionado o empresa pequeña puede conseguir una licencia de forma gratuita y que el lenguaje de programación que utiliza es C#, está orientado a objetos y puede resultar más sencillo.

También cuenta con la posibilidad de implementarse en diferentes sistemas operativos, tanto en móviles como en ordenadores, además de dispositivos de RV. En cuanto a inconvenientes, la herramienta no tiene una calidad gráfica tan elevada como en el caso de Unreal Engine, por lo que necesita un ordenador y una tarjeta gráfica suficientemente potente para conseguir sin problemas una buena calidad en el diseño gráfico, la iluminación, las texturas y las sombras.

3.1.2. Plataforma de desarrollo utilizada: Unity

Unity se conoce como uno de los motores de desarrollo de videojuegos más famoso y utilizado en los últimos años. La herramienta integra todas las características necesarias para diseñar, crear, editar y programar el funcionamiento de un juego interactivo en 3D.

La interfaz facilita ser bastante intuitiva, ya que logra reunir todas las funcionalidades propias de un editor de videojuegos que permiten crear escenas, organizar los componentes del proyecto, importarlos desde la página oficial, construir objetos, sonidos, animaciones y obtener su visualización en el modo de juego, acceder a la configuración y exportación de aplicaciones e incluso lanzar advertencias de lo que impide su correcto funcionamiento. Todas las funcionalidades aparecen en la interfaz a través de diferentes pestañas, pudiendo personalizar la organización y dimensión de estas. (Asensio 2019)

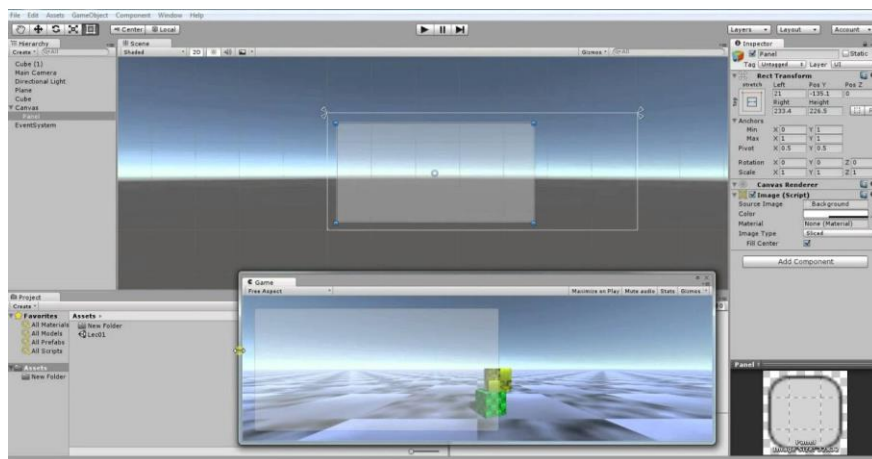


Figura 18. Interfaz de Unity.

Los archivos que almacenan el código de programación en el lenguaje C# se llaman scripts (Unity 2021), y cada uno de ellos contiene elementos básicos como variables, funciones y clases necesarias para realizar una acción concreta en el desarrollo del juego. Por defecto, el editor de código que permite instalar Unity como plataforma de programación es el Visual Studio Code.

En los scripts, se invoca a las variables a partir de funciones y en cada uno de ellos Unity define de forma automática determinadas funciones, como son:

- **Start().** Función que se invoca nada más iniciar la escena del juego, antes que Update() y que se actualice cualquier parte del juego.
- **Update().** Este método permite actualizar la información del juego en el tiempo. Se invoca por cada *frame*, o determinadas veces por segundo dependiendo de la carga de objetos, entrada de datos y efectos añadidos. Se encarga de controlar la lógica del juego que debe actualizarse constantemente.

- **FixedUpdate().** Este método funciona exactamente como el anterior, pero es más eficaz en el tiempo ya que se invoca un número fijo de veces por segundo, independientemente de la carga de trabajo que esté ejecutando.

Otro punto clave que favorece la elección de este motor, es el número de usuarios que conforman la comunidad de Unity y la cantidad de documentación que ofrecen y desarrollan por un beneficio común.

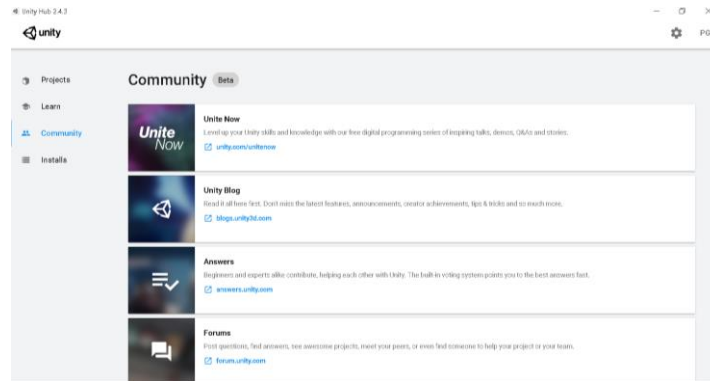


Figura 19. Sección que ofrece Unity Hub para la comunidad de usuarios.

La obtención de nuevos recursos, complementos en 3D renderizados y objetos prefabricados se ofrece a través de la pestaña “Asset Store”, que permite la descarga directa desde la página oficial de Unity. En ella se dispone de una gran colección de objetos, sonidos, fondos y estructuras que se pueden aplicar en la escena con un aspecto visual de buena calidad y sin que se haya realizado un sobreesfuerzo para conseguirlos.

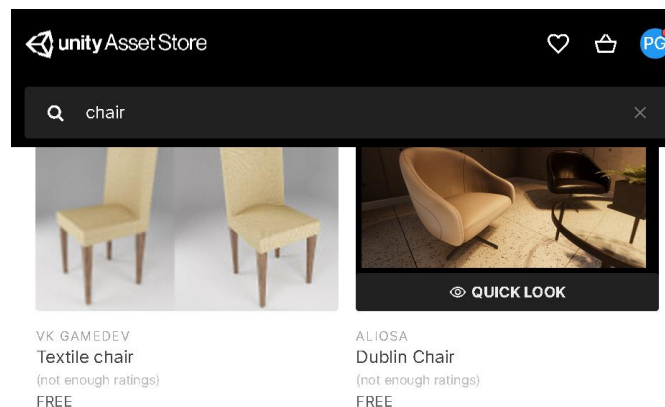


Figura 20. Unity Asset Store.

Es multiplataforma, cuenta con la posibilidad de implementar juegos compatibles con una amplia gama de dispositivos de RV como por ejemplo Oculus, HTC Vive, Google Cardboard, Samsung Gear o PlayStation VR, que a su vez, pueden tener distintos sistemas operativos. En la siguiente ilustración se observa que a la hora de construir un proyecto se puede seleccionar entre las diferentes plataformas que se ofrecen, como Windows, Mac y Linux, Android, iOS, Xbox, PS4 y PS5.

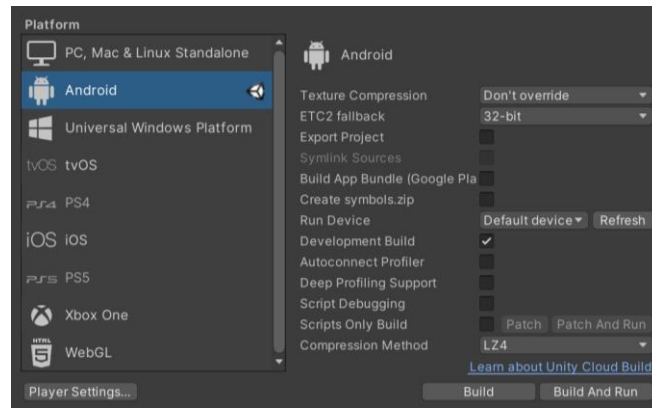


Figura 21. Lista de plataformas disponibles en Unity.

En cuanto a inconvenientes, la herramienta no contiene una calidad gráfica tan excepcional como en el caso de Unreal Engine, pero es posible configurar y personalizar algunos aspectos del diseño del proyecto, como la iluminación, las texturas y las sombras, además de seleccionar el nivel de calidad que mejor se ajuste al hardware que se utilice y a las necesidades del proyecto.

3.1.3. Dispositivos de Realidad Virtual

Las gafas y cascos de RV, representan una parte fundamental en la experiencia inmersiva, ya que existe una gran variedad en el mercado en cuanto a precio, peso, controladores inalámbricos, resolución de pantalla, software y muchas características más que son esenciales conocer antes de escoger un dispositivo u otro.

La tecnología de la RV exige equipos muy potentes para lograr mejores resoluciones y mejor funcionamiento dependiendo de su hardware y el sistema operativo del que disponga, asimismo, cuánta mayor sea la resolución de pantalla mejor será la experiencia visual. Un factor clave que facilita la inmersión es que utilizan unos sensores incorporados en las gafas que sirven para detectar la posición y rotación de la cabeza y conseguir que su movimiento vaya relacionado con el del personaje de la escena. La calidad del sistema de sonido también es fundamental para que el usuario se sienta lo más sumergido posible en la experiencia.

En cuanto a la conexión, es muy importante conocer si las gafas son inalámbricas o se conectan a través de un cable al ordenador o a la consola. Este tipo de cable suele aportar una mejora a la calidad de la visualización gráfica de las imágenes, sin embargo, su desventaja es la restricción de movimiento.

Finalmente, dependiendo de todas estas características el precio puede variar, desde modelos básicos de 5 euros hasta otros de mayor calidad por más de 1000 euros (Lo Mejor 2019). A continuación, se van a exponer algunos ejemplos de dispositivos con sus diferentes características.

Google Cardboard

Se trata de unas gafas de cartón, de diseño sencillo y económico que integra el teléfono móvil para usarlo como pantalla. Son compatibles con todo tipo de móviles, aunque de ellos dependerá en gran medida la calidad de resolución, los sensores que utilice para detectar el movimiento y el sistema de sonido, que conectando unos auriculares puede aumentar la sensación de inmersión en la escena virtual. Por otro lado, pesan 140 gramos, son independientes y no necesitan un cable de conexión a un ordenador. El software de las gafas se basa en los juegos de RV que se descargue el móvil, o en los proyectos propios de Unity. El precio oscila entre 5 y 10 euros, aunque si se desea un mejor acabado de la estructura y material para un uso más cómodo, el precio puede incrementarse hacia los 60 euros. (Silva 2020)



Figura 22. Gafas Google Cardboard.

HTC Vive

La calidad de resolución de pantalla de las gafas aumenta bastante con respecto a las Cardboard. Su diseño ofrece una mejor sujeción a la cabeza para realizar cualquier movimiento, cuyo peso de las gafas también incrementa a los 550 gramos. Los mandos son inalámbricos, pero el casco tiene la necesidad de estar conectado a un ordenador mediante más de un cable, por lo que estar pendiente de la longitud y colocación de los cables puede acabar resultando un poco molesto. La pantalla contiene unos visores de 2160 x 1200 píxeles, que permiten al usuario recibir una mejor sensación de realidad, además de poder ajustar la distancia interpupilar (DIP) a través de una rueda para conseguir un correcto campo de visión. El precio de este modelo de RV asciende a los 899 euros. (Luque 2016)



Figura 23. Gafas HTC Vive.

Oculus Quest 2

Las gafas son autónomas, permiten almacenar y jugar a juegos de forma inalámbrica, aunque le da opción al usuario de depender de la transferencia de datos de un ordenador mediante un cable o el modo Air Link, recientemente incorporado para probar los juegos del ordenador a través de una conexión WiFi (Oculus Blog 2021). Son algo menos pesadas que las HTC, en torno a 500 gramos y contienen una correa que permite ajustarlas a la cabeza y se pueden mover las lentes en 3 posiciones en función de que coincidan con la ubicación de los ojos. En su interior, la pantalla LCD con una resolución de 1832 x 1929 píxeles concede al visor una excelente calidad. Con respecto a los mandos inalámbricos son muy ligeros y admiten la adaptación perfecta con las manos. El precio es de 349 euros (García 2020; Luque 2020).



Figura 24. Gafas Oculus Quest 2.

	Diseño	Autonomía	Mandos	Resolución	Peso (g)	Precio (€)
Google Cardboard	Sencillo	Sí	No	Baja	140	5 – 60
HTC Vive	Inmersivo	No	Sí	Alta	550	899
Oculus Quest 2	Ergonómico	Sí	Sí	Alta	500	349

Figura 25. Tabla de comparación entre dispositivos de RV, elaboración propia.

A partir del análisis y la tabla de comparación de la *Figura 25*, se ha determinado el modelo Oculus Quest 2, como el mejor dispositivo de gafas de RV que se adapta a las necesidades del proyecto. Entre sus características destacan su diseño, su autonomía y su relación calidad-precio.

El dispositivo elegido presenta un diseño ergonómico, en el que el visor contiene una almohadilla protectora facial que evita que entre la luz externa, los altavoces de los laterales del casco ofrecen una buena calidad de sonido y en la parte posterior, una rueda permite ajustar la sujeción a la cabeza. A pesar de no ser tan ligeras como las Cardboard, disponen de una pantalla de resolución muy superior y dos mandos que facilitan la interacción con el entorno, como en el caso de las HTC, aunque estas últimas tienen la desventaja de que no son autónomas, y que tanto su peso como su precio son los más

elevados. Es por tanto el sistema Oculus Quest 2, el que posee un conjunto de características de calidad a un precio bastante apropiado y asequible, y el que se posiciona como una de las mejores opciones para disfrutar de la RV,

3.2. Aplicaciones complementarias utilizadas

Oculus

La aplicación Oculus está disponible para descargar en cualquier PC y se encarga de proporcionar un medio de juego y transferencia de datos a través del cable Oculus Link o un cable USB similar de alta calidad. Una vez instalada, la aplicación le indica al usuario que siga una serie de sencillos pasos, como la creación de una nueva cuenta, la configuración de la privacidad del perfil, la selección de la ubicación de descarga de las aplicaciones y productos de la tienda Oculus, el registro del modelo de gafas Oculus y el emparejamiento con ellas (Oculus 2020).

SideQuest

Es una plataforma gratuita de PC, que se usa para instalar en las gafas Oculus Quest aplicaciones creadas por distintos motores de desarrollo como Unity. Para ello, es necesario contar con un cable Oculus Link o similar que conecte las gafas al PC. Su instalación es muy sencilla, ya que una vez se disponga del APK del juego construido con Unity y de las gafas conectadas a través del cable, reconocidas por la plataforma, será posible realizar una transferencia del archivo para que se instale en SideQuest al mismo tiempo que lo haga automáticamente en el dispositivo conectado.

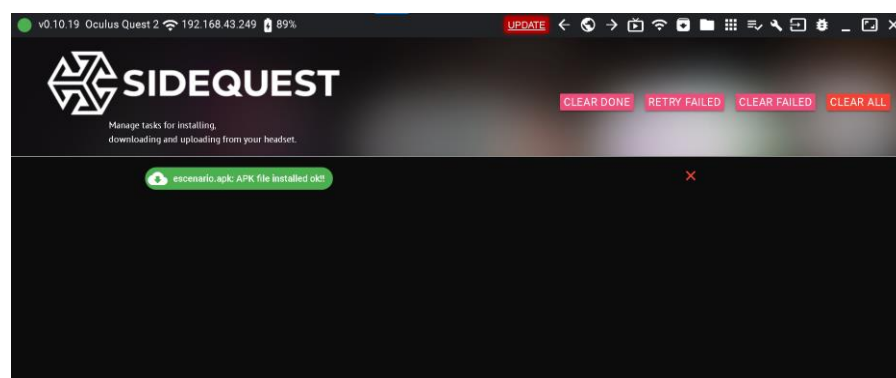


Figura 26. Transferencia de archivos en SideQuest.

Mixamo

Mixamo es un software online que ofrece descargar modelos de personajes humanos en 3D, pudiendo seleccionar y personalizar las animaciones de forma sencilla, para exportar finalmente a un proyecto. Una vez elegido el personaje entre las diferentes opciones, o importado desde el propio repositorio, se muestra un gran catálogo de animaciones que se le pueden añadir. Tras aplicar la acción al personaje, se puede personalizar la forma o la velocidad en la que se mueve y reproducir la animación resultante. Para descargar el modelo de la animación, la herramienta ofrece la posibilidad de exportarlo en formato .FBX, compatible con el motor de desarrollo de Unity.

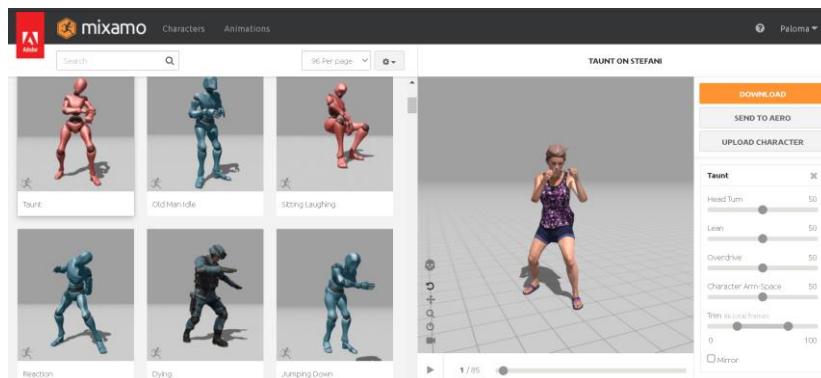


Figura 27. Plataforma de animaciones Mixamo.

3.3. Diseño final de la propuesta

El diseño del modelo (Figura 28) representa la propuesta de forma clara y sencilla proporcionando información gráfica sobre cómo se implementa cada uno de los elementos indispensables para conseguir que el usuario pueda hacer uso de un software de RV a través de un dispositivo de RV. En el esquema se diferencian 3 partes mediante el uso de 3 colores diferentes, una zona de color amarilla, azul, y otra morada.

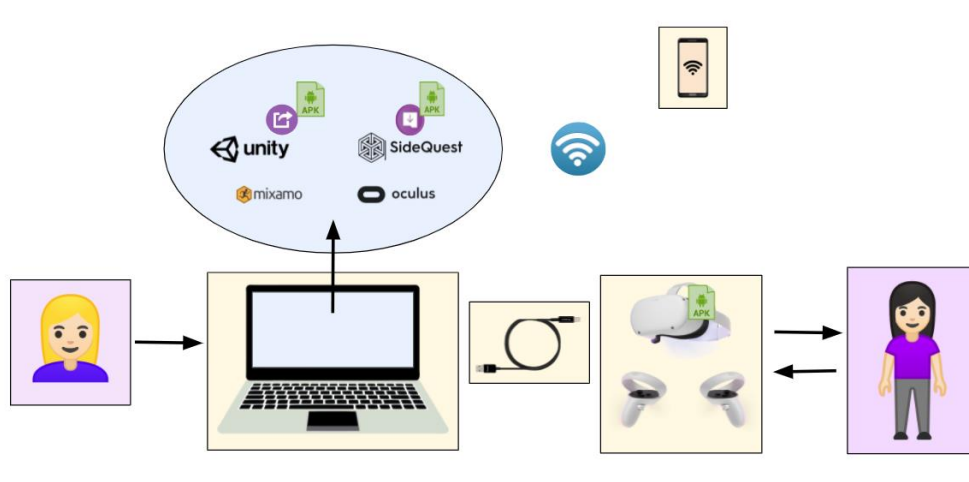


Figura 28. Diseño de la propuesta de solución, elaboración propia.

En primer lugar, se van a definir las partes estructurales que componen el modelo y su correspondencia con las zonas coloreadas:

- **La parte software.** Corresponde con la zona coloreada de azul. Formada por las plataformas que permiten el desarrollo de la aplicación de RV, como son Unity, SideQuest, Oculus y Mixamo.
 - **Unity.** Construye y exporta el EV a un ejecutable APK.
 - **SideQuest.** Importa la APK creada mediante Unity.
 - **Oculus.** Empareja las gafas de RV con el ordenador para que el programador pueda visualizar el mundo virtual mientras lo edita.
 - **Mixamo.** Crea personajes y animaciones en 3D.
 - **APK.** Es el archivo ejecutable que representa el EV.
- **La parte hardware.** Zona coloreada de amarillo. Compuesta por dispositivos tangibles como el ordenador portátil que permite desarrollar la parte software, las gafas Oculus Quest 2 a través de las cuales se puede visualizar e interactuar con el software, un cable USB tipo C para establecer conexiones entre los instrumentos y un móvil para establecer también una conexión entre dispositivos, pero de forma inalámbrica.
 - **Ordenador portátil.** Descarga e instala todas las aplicaciones software necesarias, además de controlar y procesar todas las operaciones.
 - **Cable tipo C.** Transfiere la APK procedente de SideQuest hacia las gafas Oculus.
 - **Oculus Quest 2.**
 - **Casco.** Contiene sensores internos que controlan el movimiento y ofrece imágenes y sonidos que estimulan al usuario.
 - **Mandos inalámbricos.** Permiten interactuar con el ambiente virtual.
 - **Móvil.** Crea una zona de red inalámbrica WiFi que permite la comunicación entre dispositivos a través de Internet. La red suministrada es compartida por las gafas y el ordenador, para que el programa SideQuest pueda acceder a los archivos de las Oculus.
- **El recurso humano.** Corresponde con la zona de color morado. Se trata de la persona o usuario que manipula el software y la que maneja el hardware.
 - **Programador.** Crea, edita y controla las aplicaciones software para comprobar que todo funciona correctamente.
 - **Usuario.** Se introduce en el mundo virtual a través de las gafas e interactúa con él.

Existe una relación de retroalimentación entre el equipo de RV y el usuario, en la que mientras el usuario recibe estímulos visuales y auditivos del entorno proporcionados

por el casco, también devuelve una respuesta al EV accionando los controladores inalámbricos, y viceversa, del mismo modo que el usuario interacciona con los mandos, seguidamente el mundo virtual le devuelve algún estímulo.

3.4. Análisis de la idea del prototipo

La propuesta se basa en la construcción de un juego de RV como herramienta tecnológica de ayuda para que el paciente consiga recuperar la movilización de las extremidades superiores del cuerpo, interactuando con los mandos, y que por consiguiente minimice los efectos de la kinesiofobia y del dolor crónico mediante un entorno lúdico y de entretenimiento.

Se ha estudiado que la aplicación de la RV en pacientes con cierta intensidad de dolor (pacientes con quemaduras, intervenciones dentales e intervenciones quirúrgicas) ha conseguido un conjunto de beneficios para reducir el dolor, como limitar el malestar corporal y emocional a través del componente de la distracción de la atención. Los entornos que se han utilizado han sido enfocados a la realización de actividades básicas de la vida diaria trasladadas al mundo virtual y otras actividades como disparar a objetos, conducir o visitar a los animales de un zoo, en ellas las animaciones y la gamificación toman papeles muy importantes (Miró, Nieto, y Huguet 2007).

En este caso, se ha optado por personalizar la temática de la aplicación, buscando recrear un entorno agradable en el cual el paciente tome presencia, se sienta cómodo, y le implique realizar diferentes movimientos inconscientemente y bajo el efecto de la distracción y el entretenimiento.

En un primer momento, se plantearon dos opciones de escenarios, la primera opción consistía en animar una fiesta de cumpleaños, en la cual el usuario realizara distintas acciones básicas con los brazos y practicara el agarre de objetos con las manos, entre ellas se encontraban colocar la decoración de la fiesta, coger objetos de la mesa, cortar el pastel o jugar a juegos con una pelota. La segunda opción, se basaba en la simulación del entorno de una piscina y un trampolín, en el cual el usuario pudiera ser guiado a realizar diferentes movimientos y colocaciones de brazos correctamente para poder lanzarse a la piscina y conseguir una puntuación por cada salto.

La propuesta del cumpleaños acabó siendo descartada debido a la complejidad de cada tipo de movimiento y no tener un objetivo final definido, al contrario que la segunda opción del trampolín, en la cual el usuario podía realizar distintos movimientos marcados, con la capacidad de ir superándose mediante una puntuación y diferentes niveles de dificultad.

A continuación, se explican los conceptos necesarios para comprender el desarrollo de la idea.

3.4.1. Mecánica y objetivos del juego

El usuario se sitúa de pie en la sala en la que se encuentra, al mismo tiempo que se simula que está en la plataforma del trampolín a una determinada altura de la piscina del escenario virtual y debe realizar, sujetando los mandos del dispositivo de RV, los diferentes movimientos de brazos que se le indiquen para poder dar el salto a la piscina y ser evaluado por un conjunto de jueces que le darán una puntuación personalizada.

El objetivo principal del juego es conseguir que el usuario se sumerja en el escenario y logre distraer su atención de aquellos pensamientos del mundo real que magnifican su dolor y estado de ánimo. Provocándole una agradable sensación, que le motive a realizar las actividades físicas propuestas y aumenten sus emociones positivas.

En cuanto a otros objetivos específicos del juego se encuentran:

- Crear un entorno con la temática de un trampolín y una piscina que sea inmersivo y que estimule al usuario de manera visual y auditiva.
- Añadir un personaje que se sitúe en la plataforma del trampolín.
- Conseguir que la descripción de los ejercicios aparezca de manera gráfica y sencilla.
- Programar código para que el sistema detecte que el usuario está realizando un movimiento con los mandos.
- Programar código que compruebe que el movimiento realizado coincide con el movimiento pedido.
- Trasladar al personaje para conseguir distintas perspectivas del entorno del juego.
- Recoger el feedback del usuario.
- Evaluar la ejecución del ejercicio mediante un sistema de puntos.
- Construir una aplicación informativa, intuitiva y accesible para cualquier usuario.

3.4.2. Estructura del juego

La estructura del juego se representa gráficamente en la *Figura 29*, en la que se organizan las distintas opciones que se le presentan al usuario una vez accede al menú principal del juego. En él se le permite inicializar la partida, modificar aspectos del juego, obtener información acerca del menú y salir del juego.

Al pulsar iniciar el juego, se ofrece a través de diferentes paneles consecutivos elegir el nivel de dificultad del juego y seleccionar el ejercicio a realizar. Tras realizar el movimiento del ejercicio, aparece un botón de transición que muestra el panel de la valoración personal del usuario, otro con la puntuación del jurado y finalmente, la tabla de puntuación total que se enlaza con el siguiente ejercicio.

Si se desea modificar las opciones del juego, es posible ajustar el nivel de sonido del menú principal o graduar el brillo de la pantalla. En el apartado de información del juego se muestra de manera visual el contenido de los botones principales del menú principal. Por último, también se ofrece la opción de salir del juego que le llevará directamente al menú principal del dispositivo de RV.



Figura 29. Diagrama de la estructura del juego, elaboración propia.

4. Desarrollo de la propuesta

4.1. Instalación de paquetes

Para el correcto funcionamiento y compatibilidad de la plataforma Unity con el dispositivo de RV es necesaria la descarga de una serie de paquetes complementarios que facilitarán su reconocimiento e interacción con los objetos del escenario 3D. Es posible encontrar una lista con una gran variedad de paquetes en Unity en la pestaña Window > Package Manager (Unity Technologies 2021). Entre los más importantes se encuentran:

- **Input System.** Permite controlar la entrada de datos, dependiendo del dispositivo conectado y de la plataforma de exportación, fundamental para interactuar con el entorno 3D en tiempo real.
- **Oculus XR Plugin.** Proporciona un soporte en el proyecto que permite crear aplicaciones compatibles con una variedad de dispositivos de RV Oculus, como Rift, Rift S, Quest y Quest2.
- **Unity UI.** Constituye un conjunto de herramientas para construir la interfaz del usuario. El sistema permite diseñar, dimensionar la interfaz y añadir botones, animaciones o transiciones con las que interactuará el usuario.
- **XR Plugin Management.** Facilita la creación y administración de los complementos de RV de la aplicación en distintas plataformas. Proporcionando ayuda para inicializar, configurar y compilar los elementos del proyecto.

4.2. Construcción del escenario del juego

El escenario de la aplicación lo engloban un conjunto de componentes que se van añadiendo, a partir de la creación de los objetos y figuras del entorno y la adición de elementos esenciales como el personaje y la cámara virtual. Además, para un correcto funcionamiento es necesaria la implementación de código para la detección de movimientos y la obtención de puntuación, y el diseño de una interfaz de menús.

4.2.1. Ambiente virtual

Para el montaje del escenario se ha descargado de la tienda virtual de Unity “Asset Store” un entorno gratuito de naturaleza. Este paquete contiene una serie de elementos de alta definición que recrean un paisaje agradable para el usuario, rodeado de árboles, plantas, rocas altas y un río en movimiento.



Figura 30. Entorno virtual naturaleza.

Por otro lado, se ha construido un trampolín y una piscina, elementos fundamentales para tematizar el juego y donde se va a situar el personaje la mayor parte del tiempo. A partir de la incorporación en el escenario de objetos 3D con formas sencillas, como cilindros, esferas y cubos, se han redimensionado y texturizado para formar los elementos que conforman las plataformas, las escaleras y las barandillas del trampolín, y por otro lado los bordes, el agua y las escaleras de la piscina.

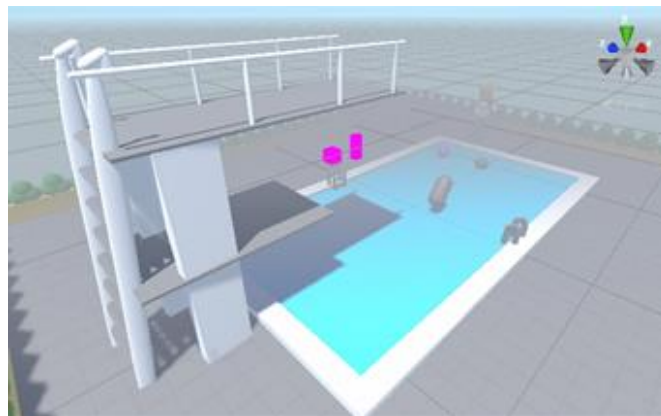


Figura 31. Modelo 3D del trampolín y piscina.

Finalmente, se añaden los elementos creados sobre el fondo prediseñado.

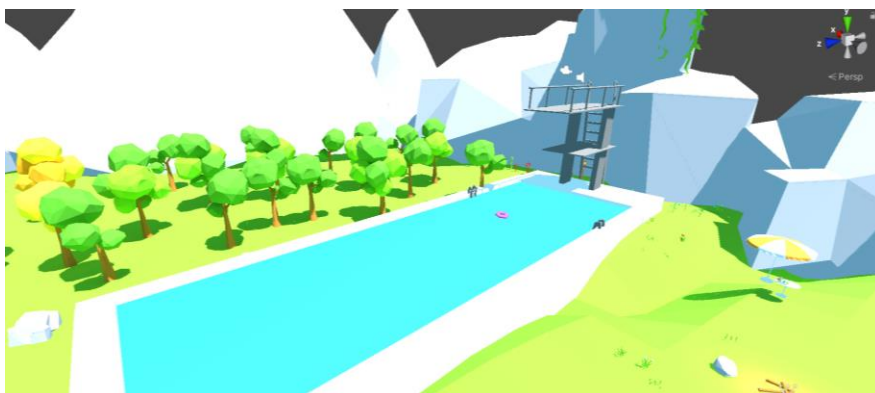


Figura 32. Escenario final del entorno.

4.2.2. Personaje

El usuario es representado en el juego por un personaje virtual recreado con la herramienta ‘Mixamo’ comentada en el punto 3.2. Para ello, se ha elegido el modelo más acorde al ambiente y a la estación de verano y se ha exportado a Unity. Una vez elegido el personaje, se han descargado algunas animaciones del personaje en movimiento, como la de correr, y la de girar a la izquierda o a la derecha.

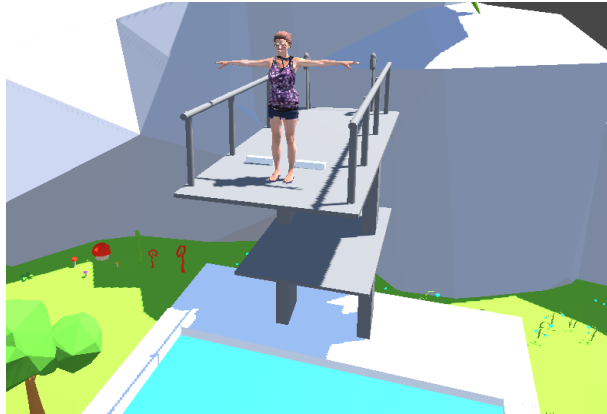


Figura 33. Personaje 3D.

En la ventana de animaciones de Unity, se establecen las direcciones de los ejes en los que se va a mover el personaje para cada una de sus animaciones. Estas animaciones de correr y girar su cuerpo se manejan mediante los joysticks de los controladores.

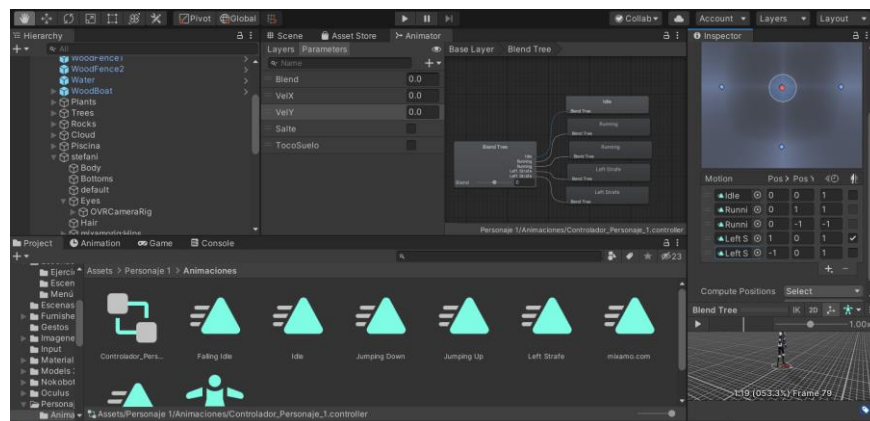


Figura 34. Editor de animaciones de Unity.

4.2.3. Cámara Virtual

La cámara principal proporciona una visión estereoscópica del entorno en el dispositivo de RV. Su posición se puede personalizar, en este caso se requiere conseguir una cámara en primera persona, que siga el movimiento de la cabeza del usuario, por lo que debe encontrarse colocada en la misma ubicación que los ojos del personaje. Para ello el componente de la cámara (OVR Camera Rig) proporcionado por el paquete instalado de Oculus, se arrastra al elemento “Eyes” del personaje.

El objeto de la cámara contiene una serie de elementos, como son la perspectiva principal para el ojo central, y otras dos para el ojo izquierdo y derecho. Además, también está formado por dos objetos que hacen referencia a los mandos izquierdo y derecho del dispositivo de RV. Pulsando “Center Eye Anchor” se observa en un pequeño recuadro la imagen con el entorno que percibe el usuario (Oculus Developers 2020).

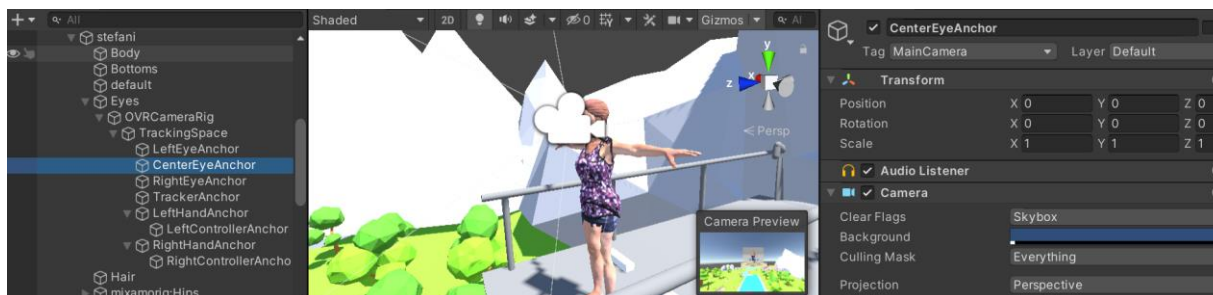


Figura 35. Cámara OVR Rig.

4.2.4. Detección de movimientos

El seguimiento de los movimientos de los brazos que realiza el jugador se consigue determinar a partir de la posición que tengan en cada momento los objetos de los mandos, partiendo de que tienen una posición 0 en la escena del programa.

A través del código que se muestra en la Figura 36, se define con las variables *hand1* y *hand2* cada uno de los mandos del hardware de RV que aparecen simulados en la escena y son de tipo *GameObject*. Al mismo tiempo, se define la variable de la distancia que mide el espacio que separa ambos mandos, a partir de la posición de cada uno, y almacena esta longitud en la variable “distance”.

Dependiendo del ejercicio y el movimiento que se requiera controlar en cada uno, se va a modificar en la función “SetDistance()” las condiciones de las posiciones de los mandos. En el ejercicio asociado al código inferior, se describe una condición, de manera que si la distancia que separa ambos mandos está entre los 0.7 y 1 metros, entonces el programa ordenará que se muestre activo un temporizador en pantalla con una cuenta atrás, mientras el usuario se encuentre realizando la posición indicada durante 5 segundos.

En caso de que el usuario no se mantenga en la posición separando los mandos esa cierta distancia, no estará realizando correctamente el ejercicio y no aparecerá el temporizador con la cuenta atrás.

```

7 public class DistanceHandsLateral : MonoBehaviour
8 {
9     public GameObject hand1;
10    public GameObject hand2;
11    private float distance;
12    public Text distancetxt1;
13    public Text distancetxt2;
14    public GameObject objeto_activo;
15
16    void Start()
17    {
18        SetDistance();
19        objeto_activo.gameObject.SetActive(false);
20    }
21
22    void Update()
23    {
24        distance = Vector3.Distance(hand1.transform.position, hand2.transform.position);
25        SetDistance();
26    }
27
28    void SetDistance()
29    {
30        distancetxt1.text = "Distancia: " + distance.ToString();
31        Debug.Log("Distancia" + distance);
32
33        if (distance >= 0.7 && distance <= 1)
34        {
35            objeto_activo.gameObject.SetActive(true);
36        }
37        else
38        {
39            objeto_activo.gameObject.SetActive(false);
40        }
41    }
42

```

Figura 36. Código que mide la distancia de los mandos.

El código del temporizador es el que se muestra en la Figura 37 e indica que mientras el tiempo definido en la variable *Time* del editor de Unity sea mayor que 0, se mostrará la imagen de una circunferencia con la cuenta atrás. Cuando el temporizador llegue a su fin, se cargará la siguiente escena.

```

7 public class Temporizador1 : MonoBehaviour
8 {
9
10    public Text txt;
11    public Image imagen;
12    public float time;
13    private float currentTime;
14
15
16    void Start()
17    {
18        currentTime = time;
19    }
20
21
22    void Update()
23    {
24        if (currentTime > 0)
25        {
26
27            currentTime -= Time.deltaTime;
28            imagen.fillAmount = currentTime / time;
29            txt.text = " " + (int)currentTime;
30
31            Debug.Log("tiempo: " + currentTime);
32        }
33        if (currentTime < 0)
34        {
35
36            SceneManager.LoadScene("Test1");
37        }
38    }
39

```

Figura 37. Código del temporizador del ejercicio.

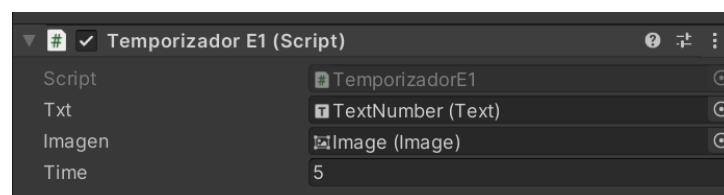


Figura 38. Editor del temporizador en Unity.

4.2.5. Sistema de puntuación

Una vez el usuario realice correctamente cada uno de los ejercicios, se dará paso a un panel con un sistema de puntuación en forma de barra deslizante. En ella el usuario deberá valorar cómo se siente tras haber terminado el ejercicio, dependiendo de dónde sitúe el puntero en la barra obtendrá una puntuación u otra, que será mostrada más adelante. El código que se describe en la *Figura 40* se encarga de almacenar en variables la puntuación numérica que corresponde a cada valor del deslizador.



Figura 39. Escala de valoración anímica.

```
27 void Start()
28 {
29     numPuntos = 0;
30     textoSaved.text = PlayerPrefs.GetInt("PuntosSaved",0).ToString();
31     totalPuntos = 0;
32 }
33
34 public void changeFeeling()
35 {
36     Debug.Log(sliderFeeling.value);
37     if (sliderFeeling.value == 0)
38     {
39         score = 0;
40         numPuntos = score;
41         textoPuntos.text = numPuntos.ToString();
42         Debug.Log(numPuntos);
43     }
44     else if (sliderFeeling.value == 1)
45     {
46         score = 1;
47         numPuntos = score;
48         textoPuntos.text = numPuntos.ToString();
49         Debug.Log(numPuntos);
50     }
51 }
```

Figura 40. Código del sistema de puntos.

Asimismo, se tendrán en cuenta las puntuaciones del jurado y de la valoración personal, en función de si ha realizado correctamente el ejercicio y de si ha proporcionado su feedback en torno a la realización del movimiento, para finalmente obtener una tabla con las puntuaciones y la suma total correspondiente

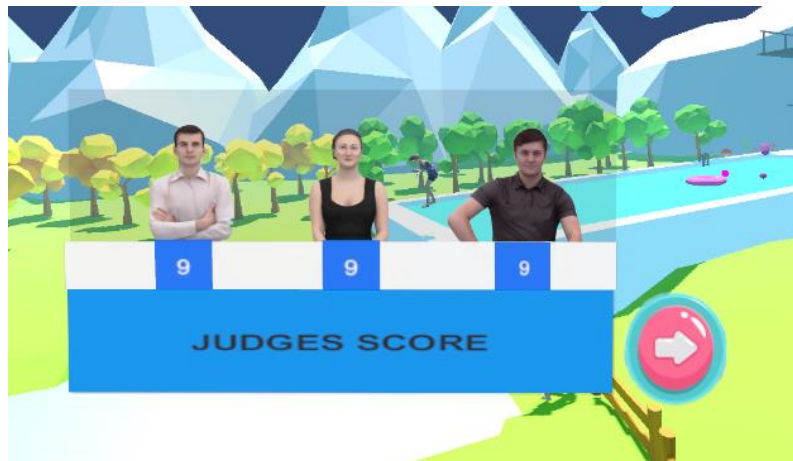


Figura 41. Representación de la valoración de los jueces.

```

128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
    }
    PlayerPrefs.SetInt("PuntosSaved", numPuntos);
    textoSaved.text = numPuntos.ToString();
    textoSaved2.text = numPuntos2.ToString();

    totalPuntos = (numPuntos + numPuntos2);
    textoTotal.text = totalPuntos.ToString();

```

Figura 42. Código de la suma total de puntuaciones.

SCORE TABLE			
Jump	Judges	Personal	TOTAL
1	7	8	15

Figura 43. Tabla de puntuación del ejercicio.

4.2.6. Interfaz de menús

El juego está formado por un conjunto de menús, con diferentes opciones y escenarios a los que el usuario puede acceder, entre ellos se dispone del menú principal, el de opciones, el de niveles y el de ejercicios.

Menú principal

El menú principal, a partir del cual se le ofrecen al usuario diversas opciones para navegar por él a través de botones. Las funcionalidades de los botones son:

- **Botón de “Play”**. Al pulsarlo, se muestran diferentes pantallas para empezar a jugar.
- **Botón de “Options”**. Ofrece modificar algunos aspectos del juego como el volumen de la música o el nivel del brillo de la pantalla.
- **Botón de “Exit”**. Se puede seleccionar si se desea salir del juego o volver al menú principal de Oculus.
- **Botón “?”**. Ofrece mediante una breve demostración visual lo que encontrará al pulsar cada botón del menú principal.

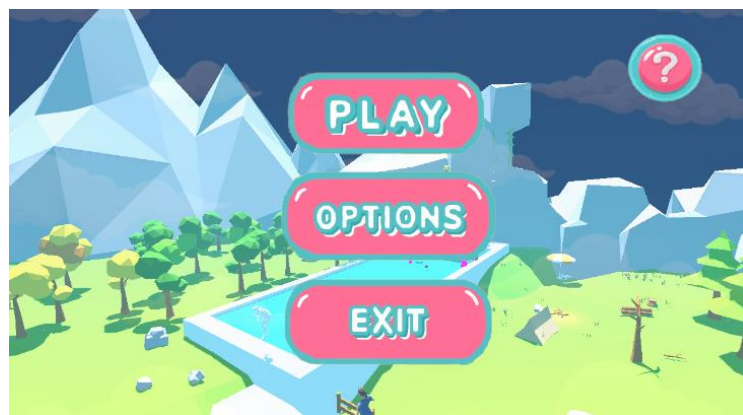


Figura 44. Menú principal del juego.

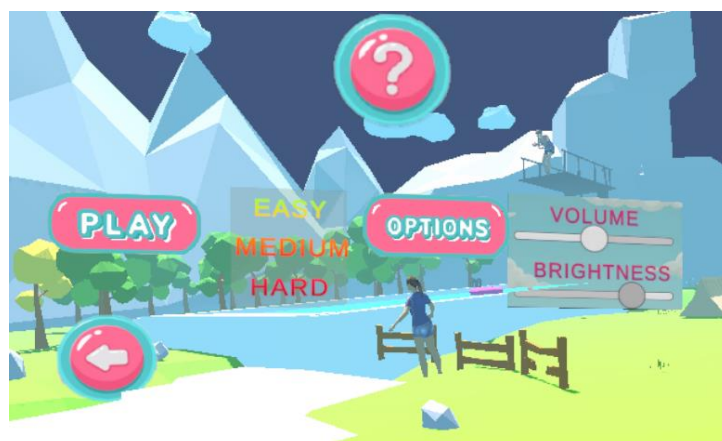


Figura 45. Botón de información del menú principal.

Menú de opciones

El usuario puede desplazar el puntero por la barra para aumentar o disminuir el volumen del audio incorporado en el menú y el brillo del panel de la pantalla.

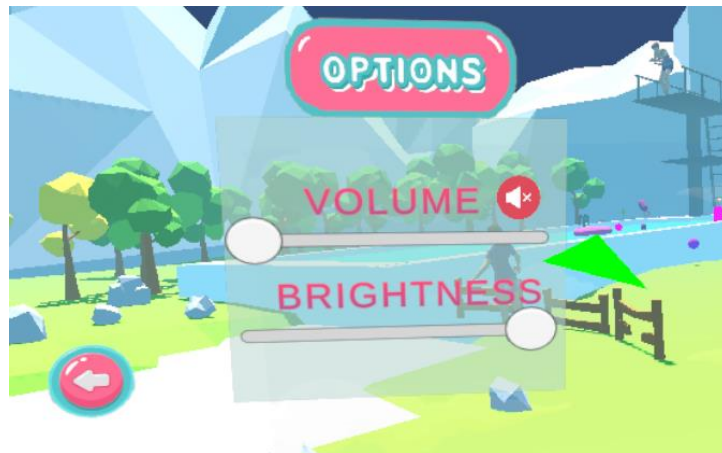


Figura 46. Sistema de opciones del juego.

Menú de niveles

Tras seleccionar 'Play' aparece una pantalla con 3 niveles de juego de distinta dificultad, 'Easy', 'Medium' y 'Hard'. Una vez complete el nivel fácil, podrá desbloquear el siguiente nivel medio y así sucesivamente. En este caso solo se han desarrollado los ejercicios para el primer nivel, por lo que solo se puede acceder al botón 'Easy'.

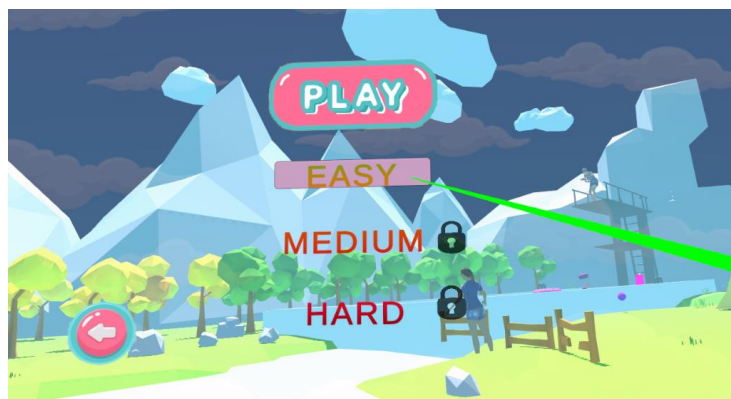


Figura 47. Niveles del juego.

Menú de ejercicios

En la pantalla del nivel fácil, aparece una serie de ejercicios numerados del 1 al 5. Cada uno de ellos tiene asociada una imagen con una figura para distinguir cada ejercicio y aportar información sobre ellos. Se observa que las figuras que aparecen son un triángulo, una 'T', un brazo derecho y otro izquierdo apuntando hacia arriba y un círculo.



Figura 48. Ejercicios del nivel fácil.

4.3. Descripción de ejercicios del juego

4.3.1. Ejercicios nivel fácil

4.3.1.1. Figura Triángulo

El usuario con los brazos extendidos hacia abajo los va abriendo lateralmente hasta que los detiene dejando entre los mandos-cadera una distancia de separación de 20 cm aproximadamente. En su tronco se dibuja la forma de un triángulo.

Tiempo: 5 segundos.



Figura 49. Ejercicio figura triángulo.

4.3.1.2. *Figura Cruz*

El usuario con los brazos extendidos hacia abajo los va elevando lateralmente hasta que estos quedan horizontales, de manera que consiga formar la figura de una cruz.

Tiempo: 5 segundos.

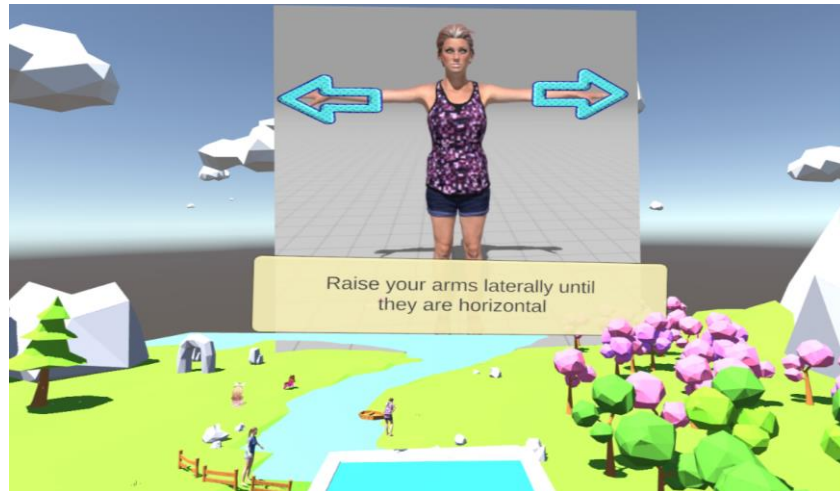


Figura 50. Ejercicio figura cruz.

4.3.1.3. *Figura Superman brazo derecho*

El usuario levanta su brazo derecho, mientras que el izquierdo lo deja extendido hacia abajo.

Tiempo: 5 segundos.



Figura 51. Ejercicio figura brazo derecho.

4.3.1.4. *Figura Superman brazo izquierdo*

El usuario levanta su brazo izquierdo, mientras que el derecho lo deja extendido hacia abajo.

Tiempo: 5 segundos.



Figura 52. Ejercicio figura brazo izquierdo.

4.3.1.5. *Figura Círculo*

El usuario eleva los brazos lateralmente y a continuación va flexionándolos, aproximando las muñecas y formando un círculo en la parte superior de la cabeza. Los mandos se chocan uno contra el otro.

Tiempo: 5 segundos.



Figura 53. Ejercicio figura círculo.

4.3.2. Ejercicios nivel medio

Se realizan cada una de las figuras descritas en el apartado del nivel fácil, pero con 3 repeticiones e intervalos de 10 segundos de descanso.

4.3.3. Ejercicios nivel difícil

Se realizan cada una de las figuras descritas en el apartado del nivel fácil, pero manteniendo la posición durante 10 segundos y con 3 repeticiones e intervalos de 10 segundos de descanso.

4.4. Complicaciones y detección de errores

En el transcurso del aprendizaje y la construcción de un proyecto es usual que se cometan errores de implementación entre los archivos, elementos, escenas, o códigos de programación, es por ello por lo que el editor de Unity es una herramienta que facilita la detección de estos errores a través de mensajes y contribuye proporcionando el enlace del foro oficial con diferentes soluciones de usuario que resuelven el error encontrado.

En el proyecto, a medida que han ido apareciendo los errores, se han ido solucionando con la ayuda del soporte oficial de Unity comentado. Entre los errores ocasionados en el programa de desarrollo, se obtiene un ejemplo de error, que se muestra en la *Figura 54*, en cuyo mensaje se advierte que la función `Application.LoadLevel()` utilizada en el código se encuentra obsoleta, y se recomienda sustituirla por otra nueva función llamada `Scene.Manager()`.

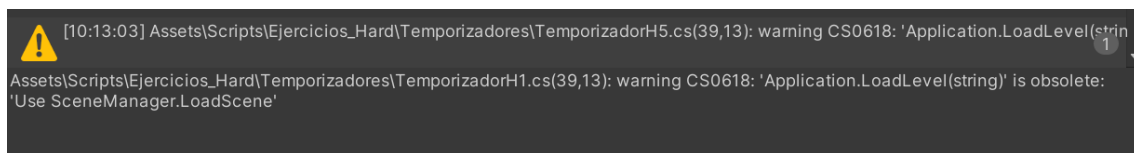


Figura 54. Advertencia error en consola Unity.

No obstante, también han surgido algunas complicaciones que el editor no ha podido resolver. Como ha ocurrido en una prueba de adición del fondo del escenario en el que se iban a desarrollar las escenas. El fondo consistía en una imagen 360° de una casa rural acompañada de un campo de césped, el archivo fue descargado gratuitamente a través de la Asset Store. Tras incorporar el fondo en el entorno de la piscina y el trampolín, se valoró que su calidad de visualización en Unity era media-baja (*Figura 55*), pero una vez se trasladó al visor de RV, su calidad se vio disminuida proporcionando una pésima calidad de resolución, lo cual provocaba la sensación de náuseas en el usuario a los pocos segundos de su observación.

Este error fue solucionado con la descarga de otro fondo virtual animado ambientado en una zona de naturaleza, el cual que se ha explicado en el *punto 4.2.1*.



Figura 55. Prueba de fondo con imagen 360°.

4.5. Casos de uso y evaluación del prototipo

Una vez desarrollado el prototipo de la aplicación de RV, se ha diseñado una encuesta con 7 preguntas para evaluar la experiencia de los usuarios con la aplicación, de modo que se pudieran recoger datos útiles sobre su funcionalidad, aplicabilidad y accesibilidad para mejorar en un futuro.

Valoración de la aplicación de Realidad Virtual para la kinesiofobia

Se ha diseñado una aplicación de RV para pacientes con kinesiofobia o miedo al movimiento. Su objetivo es que permita guiar al paciente en la realización de movimientos terapéuticos necesarios para su recuperación.

**Obligatorio*



Virtual Jumper

Figura 56. Diseño encuesta Google.

Las preguntas que se le mostraron al usuario tras usar la aplicación fueron:

1. En una escala de 1-10, ¿con qué puntuación valoras la experiencia de Realidad Virtual?
2. ¿Has sentido algún malestar, dolor de cabeza, náuseas o sensación de desequilibrio durante la experiencia?
 - a) No, nada.
 - b) Sí, un poco.
 - c) Sí, bastante.
3. En una escala de 1-10, valora si la aplicación es intuitiva, los botones son accesibles y el diseño de la interfaz es adecuado.
4. Elige la característica que más represente a la aplicación:
 - a) La aplicación es intuitiva.
 - b) Los botones son accesibles.
 - c) El diseño de la interfaz es adecuado.
 - d) La temática es creativa
5. La aplicación proporciona una información clara en torno a su utilización y a la realización de los ejercicios.
 - a) En desacuerdo.
 - b) Ni acuerdo ni en desacuerdo.
 - c) Totalmente de acuerdo
6. En una escala de 1-10, valora la dificultad de los ejercicios.
7. ¿Crees que un paciente con dolor crónico podría mejorar su calidad de vida, mediante el uso de la aplicación de Realidad Virtual?
 - a) En desacuerdo.
 - b) Ni acuerdo ni en desacuerdo.
 - c) Totalmente de acuerdo.

5. Análisis de costes

Para la implementación de la solución tecnológica definida en este proyecto, se han analizado y elegido diferentes recursos hardware y software con el objetivo de conseguir una minimización de los costes en la construcción de la aplicación de RV, y facilitar el acceso a un mayor número de hospitales, centros de rehabilitación y domicilios de pacientes.

Por tanto, los costes de la solución tecnológica se van a evaluar y calcular en función de los recursos disponibles y utilizados en el proyecto, y se pueden dividir en costes directos e indirectos.

5.1. Costes del proyecto

5.1.1. Costes directos

Entre los costes directos se pueden diferenciar las partes de software, de hardware y de recursos humanos. En la parte de software, como se ha analizado en el *punto 3.1.1.* se ha elegido una plataforma de desarrollo gratuita, Unity, que permite configurar y añadir funcionalidades sin coste alguno. También se han descargado programas extra de forma gratuita que han permitido la transferencia de la aplicación resultante hacia el sistema de RV. Por lo que el coste final de esta parte ha sido de 0 €.

En cuanto al hardware, se ha optado por comprar las gafas Oculus Quest 2, y que forman parte de la infraestructura del Laboratorio Human Robotics (HURO) de la Universidad de Alicante. Estas gafas también se han analizado en el *punto 3.1.3.* frente a otros modelos de RV que existen en el mercado. Finalmente, el coste de las gafas es de **349 €**.

Para evaluar el coste de los recursos humanos, se incluyen las horas que ha trabajado el alumno en las diferentes gestiones y tareas de desarrollo del proyecto:

- Teniendo en cuenta el diseño y la estructura de la solución, el aprendizaje en el entorno de desarrollo, la implementación y las pruebas de la solución y el seguimiento y análisis de los errores, se considera que se ha trabajado en el proyecto 6 horas al día durante 5 meses.

$$5 \text{ meses} * 4 \text{ semanas} * 5 \text{ días} * 6 \text{ horas} = \mathbf{600 \text{ horas}}$$

- El coste asociado por hora se puede calcular mediante la estimación del sueldo mensual de un ingeniero biomédico extraído de las páginas web *Glassdoor* y *2000 carreras* (Glassdoor 2021; Sarmiento 2021); por lo que se realiza la media de los salarios, y el resultante se divide entre 4 semanas de 40 horas de trabajo, obteniendo el precio final €/ hora.

$$(1.552 \text{ €} + 2.700 \text{ €}) / 2 = 2.126 \text{ €}$$

$$(2.126 \text{ €} / 4 \text{ semanas}) / 40 \text{ horas} = \mathbf{13,29 \text{ €/ hora}}$$

- El precio/ hora se multiplica por el total de horas empleadas en el proyecto, se calcula y asciende a 7.974€.

$$13,29 \text{ €/ hora} * 600 \text{ horas} = \mathbf{7.974\text{€}}$$

- Finalmente, se calcula el total de los costes directos:

$$(349\text{€} + 7.974\text{€}) = \mathbf{8.323\text{€}}$$

5.1.2. Costes indirectos

También se deben tener en cuenta algunos costes indirectos que ha supuesto utilizar el espacio del Laboratorio HURO para trabajar y manejar las gafas del proyecto. El cual se estima que se ha utilizado durante un tiempo total de 78 horas, donde se ha hecho uso de la corriente eléctrica, para obtener luz, carga en el dispositivo de RV y en el ordenador de trabajo, conexión a Internet, además de los gastos de limpieza de la zona utilizada.

- El precio medio de la conexión a Internet se estima unos 33€ al mes (Plokiko 2021). Por lo que el coste de la hora es de:

$$33\text{€} / (31 * 24) = \mathbf{0,044 \text{ €/hora}}$$

- Suponiendo que el consumo de energía de un ordenador portátil es de 100 W y su coste es de 0,12 €/ kWh (Primapaginareggio 2021), se calcula el resultado final:

$$0,12 \text{ €/ kWh} * (100 \text{ W} * 1 \text{ kW} / 1000 \text{ W}) = \mathbf{0,012 \text{ €/hora}}$$

- El coste del servicio de limpieza que se considera es de **10 €/ hora**.
- Finalmente, se calcula el total de los costes indirectos:

$$(0,044 \text{ €/h} + 0,012 \text{ €/h} + 10 \text{ €/ h}) * 78 \text{ horas} = \mathbf{784,37\text{€}}$$

5.1.3. Costes totales

El resultado de la suma de los costes directos e indirectos de los recursos definidos que se han necesitado para llevar a cabo este proyecto asciende a los 9.107,37€.

	Coste (€)
Costes directos	8.323
Software	0
Hardware	349
Recursos humanos	7.974
Costes indirectos	784,37
Conexión Internet	3,43
Energía eléctrica	0,94
Servicio limpieza	780
Total	9.107,37

Figura 57. Tabla de costes totales del proyecto, elaboración propia.

5.2. Costes implementación en ámbito sanitario

La valoración económica que supone implementar una solución de RV en diferentes instituciones sanitarias es importante y depende de diferentes aspectos como el centro en el que se realiza su instalación y el personal sanitario que lo utiliza con los pacientes.

A pesar de que los principales costes se encuentran en la adquisición del dispositivo y de la aplicación software de RV, también se hace referencia a otros costes como el gasto energético, la instalación e integración del dispositivo en el área de salud, la formación que se proporciona al personal sanitario y el mantenimiento que supone realizar actualizaciones y reparaciones del sistema.

- Gasto energético, se obtiene a partir del dato del precio de la energía eléctrica (0,12 €/ kWh), suponiendo que se realice una cantidad de 100 sesiones, se necesitará cargar el dispositivo un total de 100 horas.

$$0,12 \text{ €/ kWh} * 0,1\text{kW} * 100 \text{ horas} = \mathbf{1,2\text{€}}$$

- En la instalación e integración, se necesita de personal de ingeniería biomédica o informática que se encargue de ello durante un periodo de tiempo de 2 horas.

$$13,29 \text{ €/h} * 2 \text{ horas} = \mathbf{26,58\text{€}}$$

- El coste de impartir una formación y realización de pruebas con el dispositivo tecnológico puede realizarse durante un tiempo de 3 horas.

$$13,29 \text{ €/h} * 3 \text{ horas} = \mathbf{39,87\text{€}}$$

- El coste de su mantenimiento técnico, se calcula que es el 20% del coste del proyecto (Moore 2020):

$$20\% \text{ de } 9.107,37 = \mathbf{1.821,47\text{€}}$$

	Coste (€)
Dispositivo RV y aplicación	8.323
Energía eléctrica	1,2
Instalación e integración	26,58
Formación	39,87
Mantenimiento	1.821,47
Total	10.212,12

Figura 58. Tabla de costes en el ámbito sanitario, elaboración propia.

6. Resultados

Los resultados que se obtienen en este proyecto se pueden analizar en base a las respuestas de la encuesta realizada a los usuarios que han experimentado con la aplicación. A continuación, se comenta cada una de las preguntas pertenecientes a la encuesta mostrada en el *punto 4.5*.

6.1. Discusión

En primer lugar, la inmersión a la que se han sometido los participantes ha resultado satisfactoria en su mayoría (*Figura 59*), ya que han puntuado la experiencia con valores notables y sobresalientes.

1. En una escala de 1-10, ¿con qué puntuación valoras la experiencia de Realidad Virtual?

5 respuestas

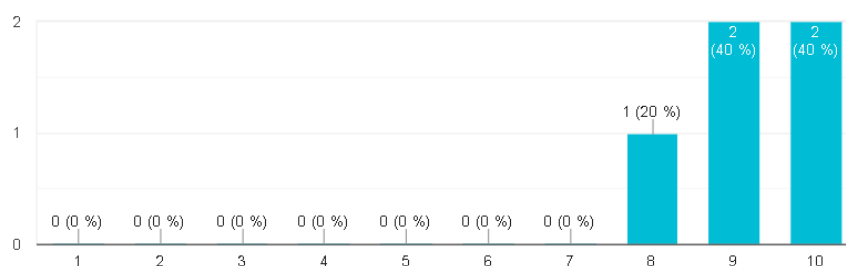


Figura 59. Resultados encuesta experiencia virtual.

Uno de los aspectos que más se tiene en cuenta en las aplicaciones de RV es la sensación de malestar que puede conllevar su utilización las primeras veces, en este caso, los usuarios han definido a través de la encuesta (*Figura 60*) que en ningún momento han percibido mareos, náuseas, ni dolores de cabeza durante el ensayo.

2. ¿Has sentido algún malestar, dolor de cabeza, náuseas o sensación de desequilibrio durante la experiencia?

5 respuestas

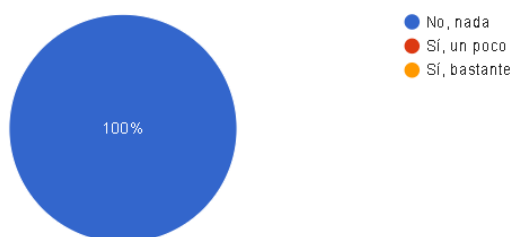


Figura 60. Resultados encuesta malestar encontrado.

En torno a la valoración de los aspectos de usabilidad y accesibilidad de la interfaz de la aplicación (*Figura 61*), todos los usuarios opinan que la aplicación es intuitiva, los botones que aparecen son accesibles, la temática implementada en el entorno es creativa y adecuada para su fin.

3. En una escala de 1-10, valora si la aplicación es intuitiva, los botones son accesibles, la temática es creativa y el diseño de la interfaz es adecuado.

5 respuestas

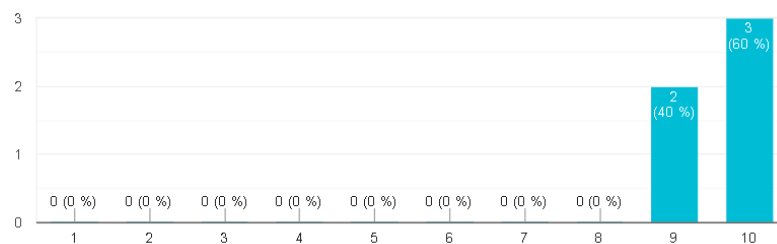


Figura 61. Resultados encuesta accesibilidad app.

Entre las características comentadas anteriormente, los usuarios proporcionan respuestas variadas, por lo que se extrae que no hay una sola característica que destaque, sino que cada una de ellas es importante para conseguir un mejor producto final (*Figura 62*).

4. Elige la característica que más represente a la aplicación.

5 respuestas



Figura 62. Resultados encuesta característica representativa.

Por unanimidad, todos los encuestados declaran que la aplicación está dotada de una buena calidad informativa que guía al jugador en la navegación y realización de los ejercicios (*Figura 63*).

5. La aplicación proporciona una información clara en torno a su utilización y a la realización de los ejercicios.

5 respuestas

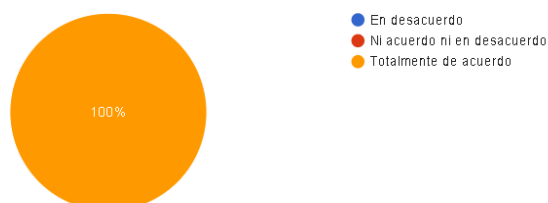


Figura 63. Resultados encuesta información proporcionada.

Los participantes no son pacientes reales que sienten miedo o dolor a la hora de realizar un movimiento, por tanto, tras su ejecución han tenido diferentes perspectivas con respecto a la dificultad que les ha supuesto a ellos y la que supondría a este tipo de pacientes. Los usuarios han valorado los ejercicios con una dificultad media-baja (*Figura 64*).

6. En una escala de 1-10, valora la dificultad de los ejercicios.

5 respuestas

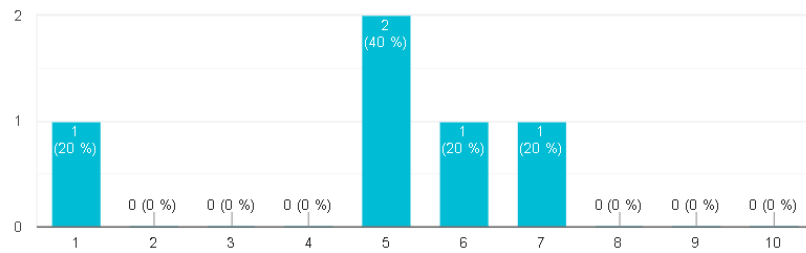


Figura 64. Resultados encuesta dificultad ejercicios.

Finalmente, el conjunto de participantes concluye que la aplicación de RV sí que podría ser una técnica de ayuda terapéutica para mejorar la calidad de vida de los pacientes (*Figura 65*).

7. ¿Crees que un paciente con dolor crónico podría mejorar su calidad de vida, mediante el uso de la aplicación de Realidad Virtual?

5 respuestas

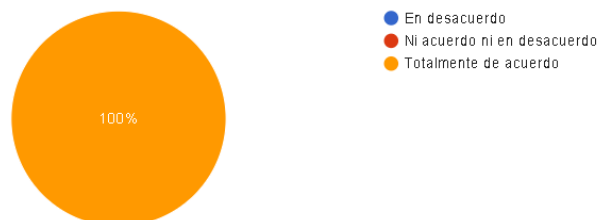


Figura 65. Resultados encuesta aplicabilidad app.

7. Conclusiones

A lo largo de toda la propuesta, se ha intentado en todo momento realizar un análisis de las distintas elecciones y desarrollar una solución focalizada en el interés de facilitar y mejorar la calidad de vida de los pacientes con kinesiofobia, y es lo que ha contribuido sustancialmente a conseguir los objetivos planteados inicialmente en el *punto 1.2*.

En cuanto al principal objetivo del trabajo, cabe destacar que se ha alcanzado correctamente. El diseño y construcción de una aplicación de RV dedicada a la kinesiofobia, ha permitido obtener una solución que favorece a los ejercicios de su tratamiento.

En cuanto a los objetivos más concretos, se ha logrado realizar un estudio tanto de la kinesiofobia, como de las diferentes aplicaciones que se han desarrollado de manera y finalidad similar, junto a la exposición de las principales ventajas y limitaciones que resultan combinar la RV y la rehabilitación.

El análisis y el manejo de las diferentes herramientas tecnológicas han sido esenciales para progresar en el desarrollo de la propuesta y también para cumplir con los propios objetivos del juego establecidos en el *punto 3.4.1*. Entre ellos se ha logrado ambientar la aplicación en un entorno visual y auditivo estimulante que permite facilitar y motivar al usuario a través de una interfaz de uso sencillo e intuitivo, y que a su vez, evalúa la ejecución de los movimientos con un sistema de puntos y obtiene un feedback de su estado de ánimo.

Para comprobar la eficiencia de la aplicación creada, también se han conseguido llevar a cabo distintas pruebas con usuarios. Además, se han recogido valoraciones muy satisfactorias, y coinciden en que todos ellos han experimentado una sesión agradable, fruto de un diseño creativo, adecuado según su propósito e intuitivo. Y aseguran que, a pesar de guiarles correctamente, han encontrado una dificultad media-baja en la realización de los ejercicios, pero aportan que puede ser una buena solución para tratar la kinesiofobia y proporcionar grandes beneficios en el paciente.

Desde mi punto de vista, la creación de un videojuego inmersivo es complejo, esto es debido a la cantidad de funcionalidades con las que se puede dotar al sistema y las cuales el desarrollador debe tener en cuenta, para cuidar cada detalle del contenido que se le va a proporcionar al usuario y en este caso, al paciente de kinesiofobia.

No obstante, las buenas sensaciones obtenidas con los participantes dan constancia de que la aplicación puede conseguir que el paciente durante el procedimiento de rehabilitación, se sienta integrado en un entorno lúdico en el que distraiga la mente del dolor y reduzca el malestar asociado.

7.1. Relación trabajo con estudios cursados

La asignatura de Psicología de la Salud cursada en el último año ha servido para analizar la aplicabilidad de las TIC en diversas patologías y trastornos psicológicos. Concretamente, se han estudiado las potenciales ventajas y limitaciones que se encuentran al implantar el uso de las aplicaciones y entornos de RV en las clínicas y consultas especializadas. También, se han obtenido conocimientos sobre las características y sensaciones propias de pacientes con dolor crónico, así como la importancia de la distracción para dejar de focalizar en el dolor y trabajar las emociones que pueden aumentar su calidad de vida.

8. Trabajos futuros

La realización del trabajo se ha ajustado a los tiempos y circunstancias del momento, por lo que existen algunas funcionalidades extras que se podrían añadir en un futuro para dotar completamente a la aplicación del proyecto.

Por lo que respecta al desarrollo de la aplicación, sería posible aumentar el número de ejercicios, dotarle de un carácter más personalizable, que pueda definir su propio avatar en el juego o elegir la música de fondo, y aportar un método de descanso, en el que el paciente pueda usar unos minutos al acabar la sesión de los ejercicios con instrucciones y sonidos de relajación.

Por otro lado, también se encuentra convertir la aplicación accesible para teléfonos móviles, de sistema operativo tanto Android como iOS. De manera que el paciente pueda descargarla y utilizarla gratuitamente, junto a unas gafas Cardboard y unos mandos.

Finalmente, otro de los aspectos que enriquecería más el proyecto sería ampliar la cantidad de pruebas de uso de la aplicación y del dispositivo y realizarlas con pacientes con kinesiofobia, para comprobar la efectividad de la RV en la rehabilitación de este tipo de pacientes.

9. Bibliografía y referencias

- Ainsa, Blanca Rollán. 2019. «Relación entre kinesiofobia y variables de personalidad en pacientes con lumbalgia crónica». 23.
- Andrés Montes de Oca, Francisco. 2020. «Simulaciones con Realidad Inmersiva, Semi inmersiva y no inmersiva.»
- Arango Dávila, Cesar A., y Hernán G. Rincón Hoyos. 2018. «Trastorno depresivo, trastorno de ansiedad y dolor crónico: múltiples manifestaciones de un núcleo fisiopatológico y clínico común». *Revista Colombiana de Psiquiatría* 47(1):46-55. doi: 10.1016/j.rcp.2016.10.007.
- Arrillaga, Judith. 2019. «Los datos del dolor en España, cuatro de cada diez lo sufre». *Consalud*. Recuperado 14 de junio de 2021 (https://www.consalud.es/pacientes/dias-mundiales/los-datos-del-dolor-en-espana-cuatro-de-cada-diez-personas-conviven-con-el_69639_102.html).
- Asensio, Iván. 2019. «Qué es Unity y para qué sirve». Recuperado 14 de junio de 2021 (<https://www.masterd.es/blog/que-es-unity-3d-tutorial/>).
- Avante. 2019. «Unity o Unreal ¿Como elegir? | Avante Digital Institute». Recuperado 13 de junio de 2021 (<https://www.avantedigitalinstitute.es/2019/05/13/unity-o-unreal-por-donde-empiezo/>).
- BaboonLab. s. f. «Realidad Virtual y medicina: usos y aplicaciones». *BaboonLab S.L.* Recuperado 29 de mayo de 2021 (<https://baboonlab.odoo.com/blog/noticias-de-marketing-inmobiliario-y-tecnologia-1/post/realidad-virtual-y-medicina-usos-y-aplicaciones-27>).
- Baños Rivera, Rosa María, Cristina Botella Arbona, Conxa Perpiñá Tordera, y Soledad Quero Castellano. 2001. «Tratamiento mediante realidad virtual para la fobia a volar: un estudio de caso». *Clinical and Health* 12(3):391-404.
- Cai, Libai, Huanhuan Gao, Huiping Xu, Yanyan Wang, Peihua Lyu, y Yanjin Liu. 2018. «Does a Program Based on Cognitive Behavioral Therapy Affect Kinesiophobia in Patients Following Total Knee Arthroplasty? A Randomized, Controlled Trial With a 6-Month Follow-Up». *The Journal of Arthroplasty* 33(3):704-10. doi: 10.1016/j.arth.2017.10.035.
- Connelly, Lauri, Yicheng Jia, Maria L. Toro, Mary Ellen Stoykov, Robert V. Kenyon, y Derek G. Kamper. 2010. «A Pneumatic Glove and Immersive Virtual Reality Environment for Hand Rehabilitative Training after Stroke». *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering: A Publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* 18(5):551-59. doi: 10.1109/TNSRE.2010.2047588.
- Croft, Paula. 2018. «Realidad Virtual: origen, actualidad y futuro». *MeriStation*. Recuperado 14 de junio de 2021 (https://as.com/meristation/2018/01/10/reportajes/1515567480_172151.html).

- Darekar, Anuja, Bradford J. McFadyen, Anouk Lamontagne, y Joyce Fung. 2015. «Efficacy of virtual reality-based intervention on balance and mobility disorders post-stroke: a scoping review». *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* 12. doi: 10.1186/s12984-015-0035-3.
- Dausens. 2018. «REALIDAD VIRTUAL | 10 hitos en la historia de la VR». *DeuSens*. Recuperado 14 de junio de 2021 (<https://www.deusens.com/hitos-historia-realidad-virtual/>).
- Dr. Nash. 2019. «Dolor Agudo- drnashcares». <https://drnashcares.com/>. Recuperado 16 de junio de 2021 (<https://drnashcares.com/dolor-agudo/>).
- Espacio Visual Europa. 2018. «Breve Historia de la Realidad Virtual». *EVE Museos e Innovación*. Recuperado 14 de junio de 2021 (<https://evemuseografia.com/2018/03/30/breve-historia-de-la-realidad-virtual/>).
- Europa Press. 2019. «El pensamiento catastrofista determina la intensidad y el efecto del dolor en el paciente». Recuperado 16 de junio de 2021 (<https://www.infosalus.com/salud-investigacion/noticia-pensamiento-catastrofista-determina-intensidad-efecto-dolor-paciente-20190618182514.html>).
- Fernández García, David, y Francisco Miguel Martínez-Arnau. 2017. «La tecnología como herramienta para el cuidado. La realidad virtual al servicio de la salud.»
- Fitness-gaming. 2015. «OmniVR Brings Virtual Rehabilitation to Older Patients». *Fitness Gaming*. Recuperado 30 de mayo de 2021 (<https://fitnessgaming.com/news/health-and-rehab/omnivr-brings-virtual-rehabilitation-to-older-patients.html>).
- García, Jose. 2020. «Oculus Quest 2, análisis: una de las mejores (y asequibles) opciones para iniciarse en la realidad virtual». *Xataka*. Recuperado 15 de junio de 2021 (<https://www.xataka.com/analisis/oculus-quest-2-analisis-caracteristicas-precio-especificaciones>).
- Gil, Ingrid. 2021. «“Link” o “Blue Box”: el primer simulador de vuelo». *Noticias de Aviación en Transponder 1200*. Recuperado 16 de junio de 2021 (<https://www.transponder1200.com/link-o-blue-box-el-primer-simulador-de-vuelo/>).
- Glassdoor. 2021. «Sueldo: Ingeniero Biomédico». *Glassdoor*. Recuperado 27 de junio de 2021 (https://www.glassdoor.es/Sueldos/ingeniero-biomédico-sueldo-SRCH_KO0,19.htm).
- Gómez Pérez, López Martínez, y Ruíz Párraga. 2011. «Cuestionario TSK-11SV. Tampa Scale for Kinesiophobia.»
- Hyde, Matthew, Maxwell Scott-Slade, Hugo Scott-Slade, Michael Hornberger, Hugo Spiers, Ruth Dalton, Christoph Hoelscher, Jan Wiener, y Veronique Bohbot. 2016. «Sea Hero Quest: The World’s First Mobile Game Where Anyone Can Help Scientists Fight Dementia». Recuperado 24 de junio de 2021 (<https://eprints.lancs.ac.uk/id/eprint/138622/>).

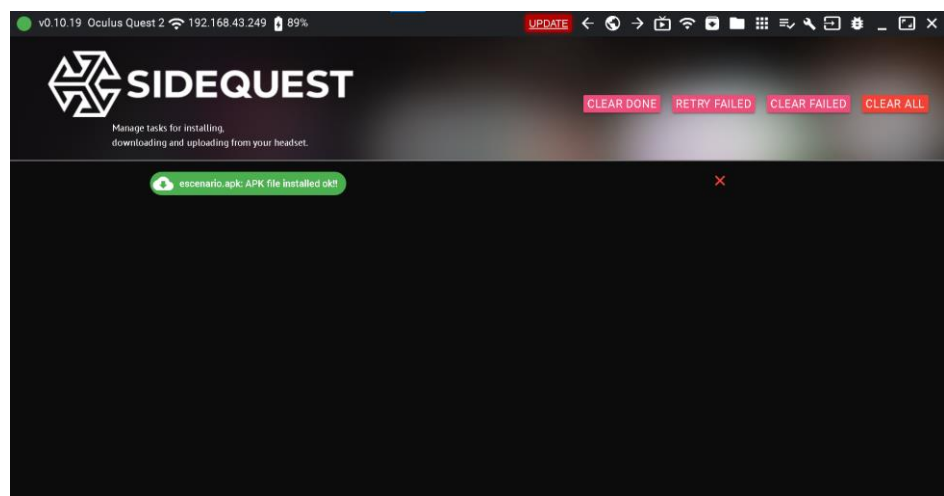
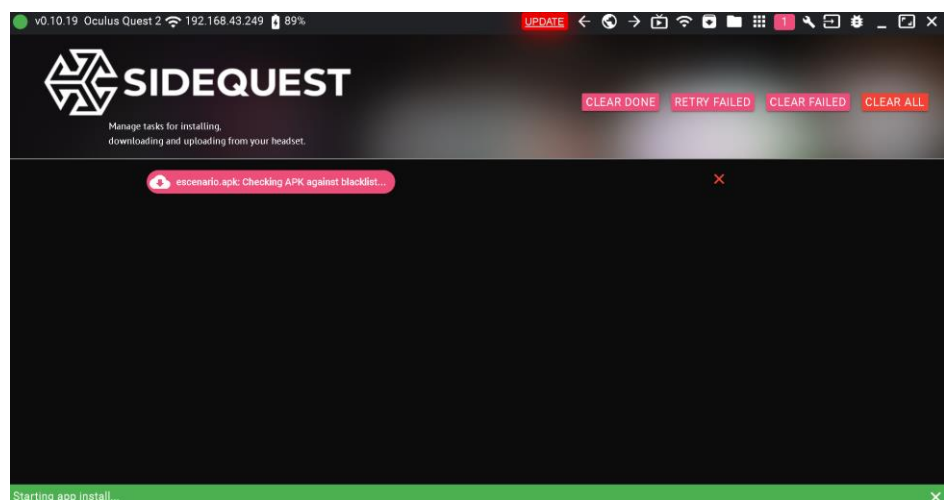
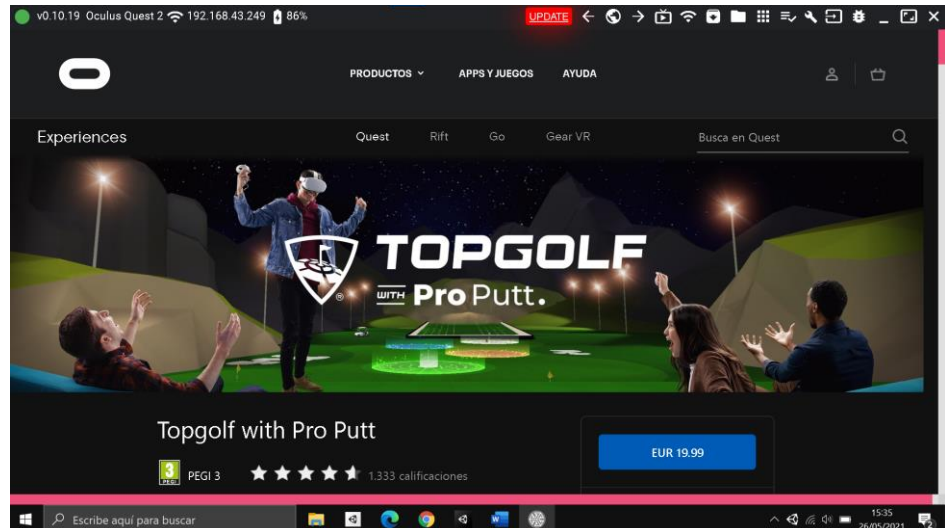
- Innovae. 2021. «La tecnología de la Realidad Virtual consiste en inmersión». *Innovae*. Recuperado 16 de junio de 2021 (<https://www.innovae.eu/la-tecnologia-de-realidad-virtual/>).
- Jimeno-Morenilla, Antonio, y Alberto Puerta. 2007. «State of the Art of the Virtual Reality Applied to Design and Manufacturing Processes». doi: 10.1007/s00170-006-0534-2.
- Knapik, Andrzej, Edward Saulicz, y Rafał Gnat. 2011. «Kinesiophobia – Introducing a New Diagnostic Tool». *Journal of Human Kinetics* 28:25-31. doi: 10.2478/v10078-011-0019-8.
- Linowes, Jonathan. 2020. *Unity 2020 Virtual Reality Projects*. Third Edition. Packt Publishing.
- Lo Mejor. 2019. «Comparativo de gafas de realidad virtual: análisis junio 2021». *Lo Mejor*. Recuperado 15 de junio de 2021 (<https://www.lo-mejor.com/electronica/comparativo-gafas-de-realidad-virtual-precio-opinion/>).
- López Cubas, Carlos. 2017. «Kinesiofobia y dolor crónico». Recuperado 16 de junio de 2021 (<https://carloslopezcubas.com/2017/11/kinesiofobia-dolor-cronico.html>).
- Luque, Roberto. 2016. «HTC Vive review en Español (Análisis completo)». *Profesional Review*. Recuperado 15 de junio de 2021 (<https://www.profesionalreview.com/2016/06/11/htc-vive-review-espanol/>).
- Luque, Roberto. 2020. «Oculus Quest 2 Review en Español (Análisis completo)». *Profesional Review*. Recuperado 20 de junio de 2021 (<https://www.profesionalreview.com/2020/12/31/oculus-quest-2-review/>).
- Margarita González, A. 2014. «Dolor crónico y psicología: actualización». *Revista Médica Clínica Las Condes* 25(4):610-17. doi: 10.1016/S0716-8640(14)70081-1.
- Miró, Jordi, Rubén Nieto, y Anna Huguet. 2007. «Realidad virtual y manejo del dolor». *Cuadernos de medicina psicosomática y psiquiatría de enlace*, ISSN 1695-4238, N°. 82, 2007 (*Ejemplar dedicado a: Psicoterapia y Nuevas Tecnologías. Parte II*), pags. 52-64 82.
- Moix Queraltó, Jenny, y Francisco M. Kovacs. 2010. «TERAPIA COGNITIVO-CONDUCTUAL PARA EL DOLOR CRÓNICO». Recuperado 19 de junio de 2021 (http://www.infocop.es/view_article.asp?id=2800).
- Montaño Ocaña, Juan. 2012. «Educación en neurociencia del dolor». Presentado en TMO Formación, Universidad Europea Madrid.
- Monteagudo, Sara, Antoine Bach, y Guillermo Baviano. 2018. «Catastrofismo ante el dolor crónico». Recuperado 16 de junio de 2021 (<https://ginvestigaciontmo.com/2018/03/12/catastroficacion-ante-el-dolor-cronico/>).

- Moore, Tyler. 2020. «What's the Cost to Maintain an App? - App Press». Recuperado 27 de junio de 2021 (<https://www.app-press.com/blog/whats-the-cost-to-maintain-an-app>).
- MR informática. 2019. «Un vistazo atrás a la Realidad Virtual». *MR Informática*. Recuperado 14 de junio de 2021 (<https://mrinformatica.es/un-vistazo-atras-a-la-realidad-virtual/>).
- Oculus. 2020. «Servicio de ayuda de Oculus | Hardware y configuración». *Oculus support*. Recuperado 12 de junio de 2021 (<https://support.oculus.com/3036997806429220/>).
- Oculus Blog. 2021. «Introducing Oculus Air Link, a Wireless Way to Play PC VR Games on Oculus Quest 2, Plus Infinite Office Updates, Support for 120 Hz on Quest 2, and More». Recuperado 15 de junio de 2021 (<https://www.oculus.com/blog/introducing-oculus-air-link-a-wireless-way-to-play-pc-vr-games-on-oculus-quest-2-plus-infinite-office-updates-support-for-120-hz-on-quest-2-and-more/>).
- Oculus Developers. 2020. «Add Camera Rig Using OVRCameraRig | Oculus Developers». Recuperado 26 de junio de 2021 (<https://developer.oculus.com/documentation/unity/unity-add-camera-rig/>).
- Pareja, Miguel López. 2017. «Kinesiofobia: así es vivir con miedo a moverse». *Vitónica*. Recuperado 16 de junio de 2021 (<https://www.vitonica.com/lesiones/kinesiofobia-asi-es-vivir-con-miedo-a-moverse>).
- Peñacoba Puente, Cecilia. 2009. «INTERVENCIÓN PSICOLÓGICA EN PERSONAS CON FIBROMIALGIA». Recuperado 13 de mayo de 2021 (http://www.infocop.es/view_article.asp?id=2436).
- Physioplus. s. f. «Box and Block Test». *Physiopedia*. Recuperado 13 de junio de 2021 (https://www.physio-pedia.com/Box_and_Block_Test).
- Plokiko. 2021. «Todas las tarifas de conexión a internet por fibra en 2021». *Xataka Móvil*. Recuperado 27 de junio de 2021 (<https://www.xatakamovil.com/comparativa-de-tarifas/todas-tarifas-conexion-a-internet-fibra-2020>).
- Primapaginareggio. 2021. «▷ Cuanto consume un ordenador | Actualizado junio 2021». *Primapaginareggio*. Recuperado 27 de junio de 2021 (<https://primapaginareggio.com/juegos-y-consolas/cuanto-consume-un-ordenador/>).
- Riloba, Javier. 2014. «La precipitada historia de Oculus Rift | Toyoutome». Recuperado 14 de junio de 2021 (<https://toyoutome.es/blog/la-precipitada-historia-de-oculus-rift/27985>).
- Robles García, V. 2018. «Realidad virtual como herramienta en fisioterapia, ¿ficción o realidad?» *Fisioterapia* 40(1):1-3. doi: 10.1016/j.ft.2017.09.004.

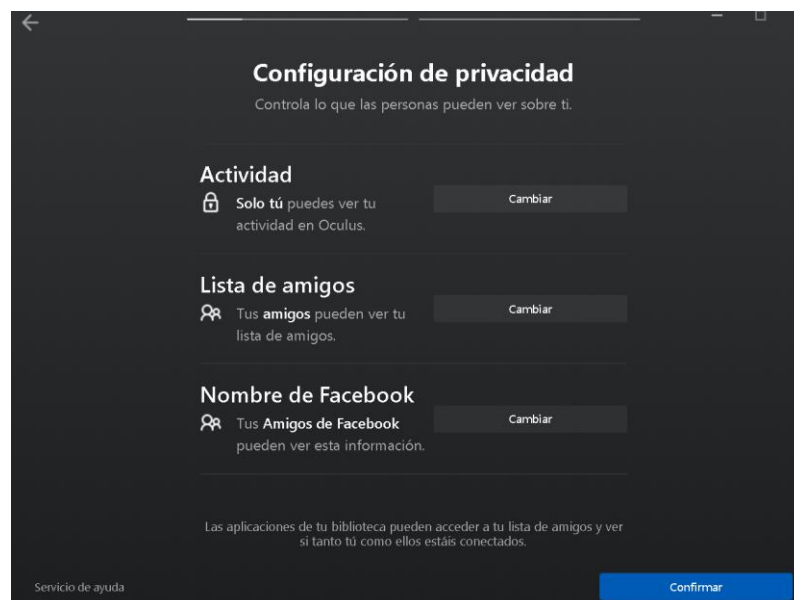
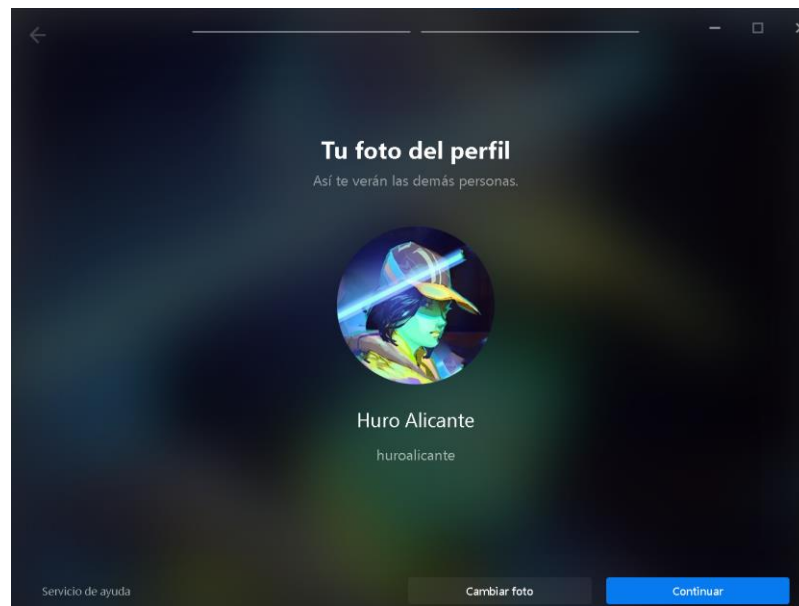
- Rodríguez, Celestino, Débora Areces, Trinidad García, Marisol Cueli, y Paloma González-Castro. 2018. «Comparison between Two Continuous Performance Tests for Identifying ADHD: Traditional vs. Virtual Reality». *International Journal of Clinical and Health Psychology* 18(3):254-63. doi: 10.1016/j.ijchp.2018.06.003.
- Ruíz Robledillo, Nicolás. 2021. «Psicología de la Salud. Estrés, trastornos de ansiedad y exposición a estímulos fóbicos mediante las TIC.», marzo, Universidad Alicante.
- Sarmiento, Fede. 2021. «¿Cuánto gana un Ingeniero Biomédico EN 2021?». *Información de hoy*. Recuperado 27 de junio de 2021 (<https://2000carreras.com/cuanto-gana-un-ingeniero-biomedico-en-2017/>).
- Sega Fandom. s. f. «SubRoc-3D». *Sega Encyclopedia*. Recuperado 16 de junio de 2021 (<https://sega.fandom.com/es/wiki/SubRoc-3D>).
- Sersana. 2021. «Dolor agudo y crónico: entendiendo las señales de tu cuerpo». *Sersana*. Recuperado 16 de junio de 2021 (<https://sersana.com/dolor-agudo-y-cronico-entendiendo-las-senales-de-tu-cuerpo/>).
- Silva, Miguel. 2020. «Google Cardboard: Análisis de las Gafas VR de Google». Recuperado 15 de junio de 2021 (<https://gafasrealidadvirtual.pro/google-cardboard/>).
- Sin, Hyeonhui, y Gyuchang Lee. 2013. «Additional Virtual Reality Training Using Xbox Kinect in Stroke Survivors with Hemiplegia». *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation* 92(10):871-80. doi: 10.1097/PHM.0b013e3182a38e40.
- SoloEmpleo. s. f. «Unity vs Unreal ¿Qué es mejor para crear videojuegos?». *SoloEmpleo*. Recuperado 12 de junio de 2021 (<https://www.soloempleo.com/diferencias-entre-unity-y-unreal-engine>).
- Studylib. 2019. «Capítulo 2 Introducción a la Realidad Virtual». *studylib.es*. Recuperado 16 de junio de 2021 (<https://studylib.es/doc/4769504/capítulo-2-introducción-a-la-realidad-virtual>).
- Tarantino Ruíz, Francisco. 2004. «Propiocepción: introducción teórica». *eFisioterapia*. Recuperado 14 de junio de 2021 (<https://www.efisioterapia.net/articulos/propiocepcion-introduccion-teorica>).
- TEDx Talks. 2017. *Gaming to health care-virtual reality in physical rehabilitation / Christopher Rhea / TEDxGreensboro*.
- Tokio School. 2021. «¡Empieza a desarrollar videojuegos! Descubre GameMaker Studio | Tokio». *Tokio School*. Recuperado 13 de junio de 2021 (<https://www.tokioschool.com/noticias/que-es-gamemaker-studio/>).
- Two Reality. s. f. «Realidad Virtual para Sanidad y Hospitales | Ventajas y aplicaciones». *Two Reality*. Recuperado 29 de mayo de 2021 (<https://www.tworeality.com/realidad-virtual-sanidad/>).

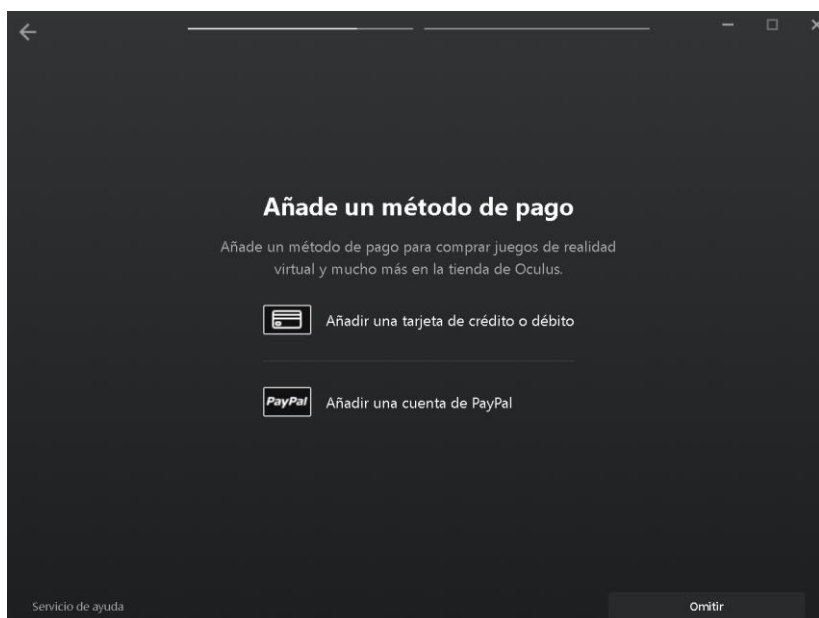
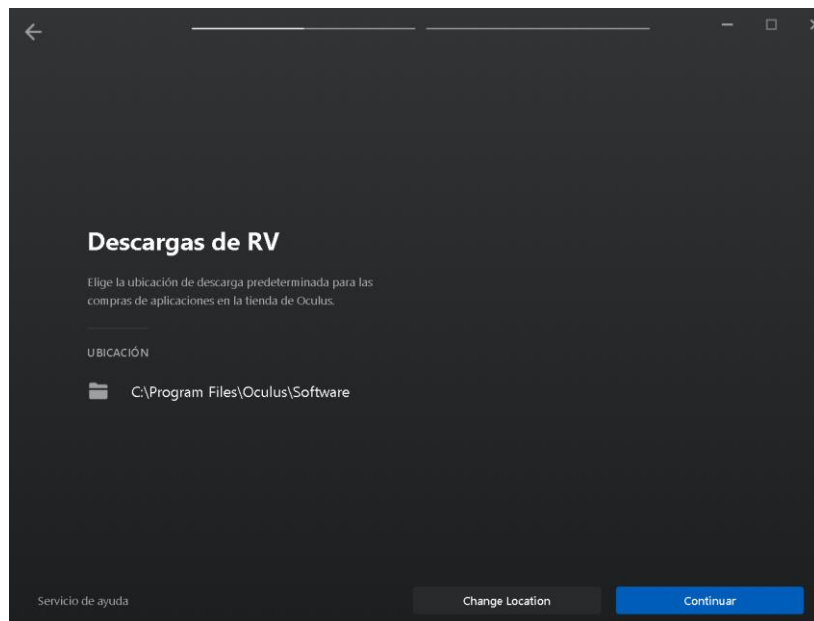
- UC3M. 2016. «Realidad virtual para la rehabilitación motora del hombro | UC3M». Recuperado 30 de mayo de 2021 (https://www.uc3m.es/ss/Satellite/UC3MInstitucional/es/Detalle/Comunicacion_C/1371216793475/1371303851915/Realidad_virtual_para_la_rehabilitacion_motora_del_hombro).
- Unity. 2021. «Learning C# and coding in Unity for beginners». *Unity*. Recuperado 13 de junio de 2021 (<https://unity3d.com/es/learning-c-sharp-in-unity-for-beginners>).
- Unity Technologies. 2021. «Unity - Manual: paquetes verificados». Recuperado 26 de junio de 2021 (<https://docs.unity3d.com/Manual/pack-safe.html>).
- Viñas-Diz, S., y M. Sobrido-Prieto. 2016. «Realidad virtual con fines terapéuticos en pacientes con ictus: revisión sistemática». *Neurología* 31(4):255-77. doi: 10.1016/j.nrl.2015.06.012.

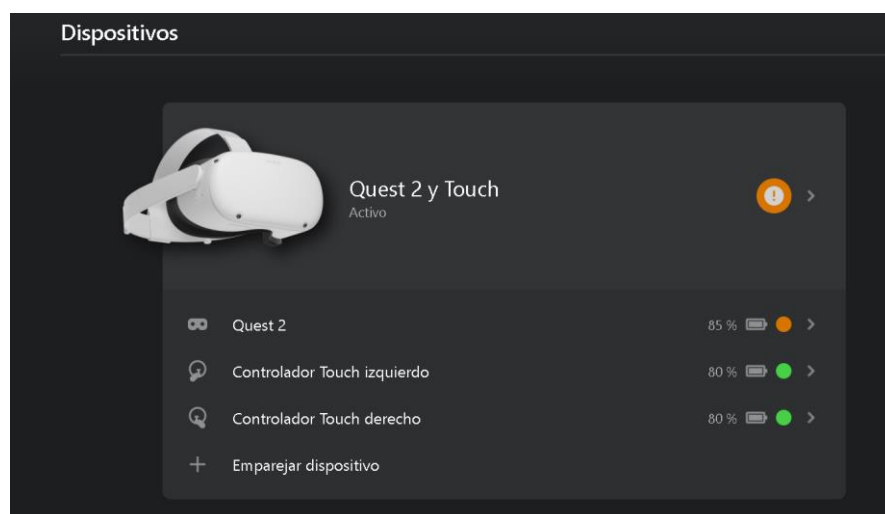
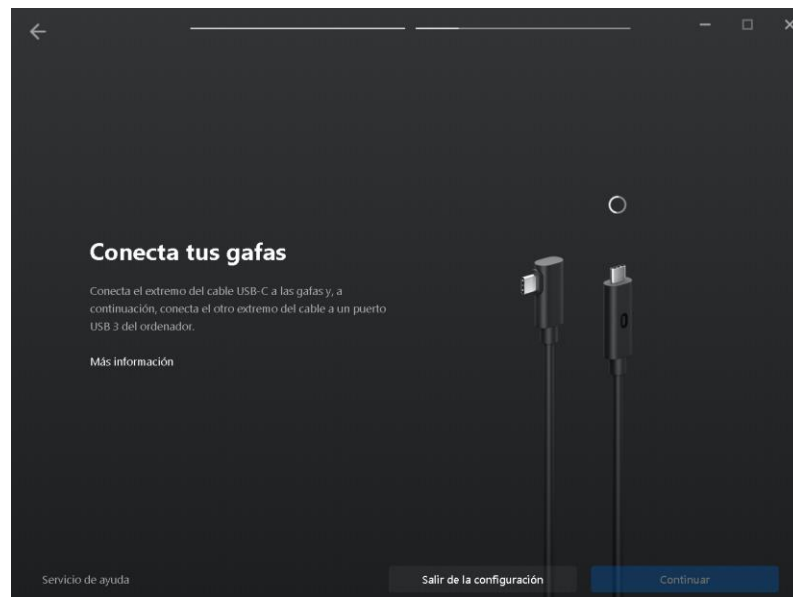
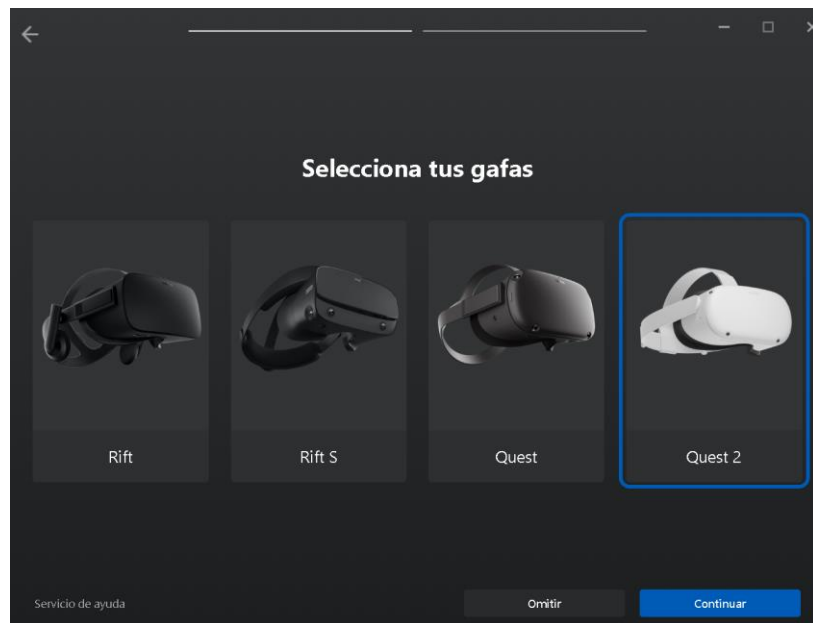
A.1. Instalación de la APK de Unity a través de SideQuest



A.2. Instalación de la aplicación Oculus







A.3. Retransmisión de la aplicación

Se realiza la transmisión de la pantalla de la aplicación a través de enlace:
<https://www.oculus.com/casting>



Inicia sesión en Oculus para comenzar a transmitir

INICIAR SESIÓN



Comienza a transmitir a este enlace privado desde tus gafas

-  Pulsa el Botón "Oculus" para abrir el menú universal
-  Accede a **Compartir**
-  Selecciona **Transmitir**
-  Selecciona **Ordenador**

